Anfeuchtersysteme für die künstliche Beatmung bei Kindern und Säuglingen: Ergebnisse von Leistungs- und Sicherheitstests

WOLFGANG KÖRN

~~1982~~
1923

Diss
Düsseldorf

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535714_0046

Aus der Kinderklinik der Universität Düsseldorf
Direktor: Prof. Dr. von Harnack

ANFEUCHTERSYSTEME FÜR DIE KÜNSTLICHE BEATMUNG BEI KINDERN UND SÄUGLINGEN: ERGEBNISSE VON LEISTUNGS- UND SICHERHEITSTESTS

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Wolfgang Körn

1982

Mit Unterstützung der Zentralstelle für Sicherheitstechnik
des Landes Nordrhein-Westfalen in Düsseldorf.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Referent
gez.: Prof. Dr. Lemburg

Der Dekan
gez.: Prof. Dr. Brüster

Korreferent
gez.: Prof. Dr. Falke

Inhalt:

Vorwort
1. Einführung in das Thema
2. Aufbau der Testeinrichtung
3. Eichung der Meßeinrichtungen
4. Untersuchte Anfeuchtersysteme
5. Ergebnisse
...1. Gerätebeschreibung
...2. Testergebnisse
...3. Gerätesicherheit
...4. Gerätebeurteilung
6. Temperaturabfall im Schlauchsystem
7. Diskussion
8. Zusammenfassung
Literaturverzeichnis

Für die künstliche Beatmung über einen längeren Zeitraum werden heute allgemein Systeme zur Anfeuchtung des Atemgases eingesetzt. Bei der Anwendung solcher Systeme treten allerdings immer wieder Unklarheiten und Unsicherheit über die Funktion und die Wirksamkeit der benutzten Geräte auf. Die technischen Daten in den Prospekten der Hersteller sind nicht einheitlich und stellen einseitig Vorteile eines Gerätes heraus. Somit bieten sie dem Anwender keine brauchbare Vergleichsmöglichkeit zwischen verschiedenen Anfeuchtern.

In der folgenden Untersuchung wird versucht, nach einheitlichen Meßkriterien praxisnah einen objektiven Vergleich mehrerer gebräuchlicher Anfeuchtersysteme durchzuführen. Dabei wurde die Versuchsanordnung möglichst einfach gestaltet, um eine einheitliche Testmethode sicher anwenden zu können.

1. Die Bedeutung der Klimatisierung der Atemluft

Die Bedeutung der Feuchtigkeit in der Atemluft ist schon seit vielen Jahren bekannt (Verzár 1953, Perwitzschky 1928/30). Doch erst in den letzten Jahren wird den Problemen in Zusammenhang mit künstlicher Beatmung wieder mehr Aufmerksamkeit gewidmet. Der Respirationstrakt hat nicht nur die Aufgabe des Gasaustausches über die Atmung, sondern er reguliert auch - vor allem im Nasen-Rachenraum - in erheblichem Maße den Wasser- und Wärmehaushalt des Körpers. Wird der Nasen-Rachenraum durch einen Endotrachealtubus bei künstlicher Beatmung ausgeschaltet, so ist der Wasser- und Wärmehaushalt des Körpers erheblich beeinträchtigt.

S. Marfatia (1975) stellte bei Kaninchenversuchen fest, daß bis zu einem Drittel des Grundumsatzes für die Befeuchtung trocken in den Respirationstrakt gelangter Luft verbraucht wird. Nach längerer Exposition zeigten sich schwerwiegende, pathologische Befunde bei histologischen Präparaten der Respirationsepithelien.

Wie R.E. Clarke (1975) in einer Untersuchung zeigte, gehen über die Lungen 12% der Körperwärme verloren. J. Chalon (1979) verdeutlicht, wie der Feuchtigkeitsgehalt der Atemluft und postoperative Lungenkomplikationen nach intraoperativer Beatmung zusammenhängen.

Die Bedeutung des Nasen-Rachenraumes bei physiologischer Atmung geht aus einer Arbeit P.H. Hamers (1974) hervor. Darin kommt er zu dem Resultat, daß 75% der benötigten Feuchtigkeit zur Anfeuchtung der Atemluft bei der Passage durch die Nase und den

Pharynx zugesetzt werden. Ein intaktes Flimmerepithel befördert 200 bis 400 ml Schleim und Sekret kehlkopfwärts (in 24 h) und erneuert den Schleimüberzug des Trachealbaumes etwa alle ein bis zwei Stunden. Ein Absinken des Feuchtigkeitsgehaltes der Atemluft wirkt sich vor allem in der Trachea aus, wo das Flimmerepithel besonders aktiv ist. Die Transportfunktion des Flimmerepithels und damit der Selbstreinigungsmechanismus brechen zusammen. Als Folge stellen sich Bronchialobstuktionen, Mikroatelektasen, Atelektasen, Bronchopneumonien und Hypoxie ein.
Bei 70% relativer Feuchte tritt bereits nach 15 Minuten eine erhebliche Verlangsamung der Zilientätigkeit auf. Bei 50% r.F. sistieren die Zilien nach 8-10 Minuten, bei 30% r.F. bereits nach 3-5 Minuten (P.H. Hamer, 1974).
Geht man von einem Atemminutenvolumen von 10 Litern aus, verbraucht der menschliche Organismus in 24 Stunden allein 400 kcal oder 1670 Joule, um normale Raumluft von 21°C und 60% r.F. zu erwärmen und anzufeuchten.

Häufig betroffen von Lungenkomplikationen durch eine beeinträchtigte Bronchialdrainage sind Patienten mit teilweiser oder totaler Immobilisation infolge eines Traumas, einer Operation, einer Lungenerkrankung oder nach Aspiration.
A.J. Fisher (1965) zeigt in seiner Arbeit den Pathomechanismus der Sekreteindickung durch Feuchtigkeitsmangel auf: Wenn die Bronchialdrainage beeinträchtigt wird, kann die Kapazität der Lunge, das Feuchtigkeitsdefizit der Atemluft auszugleichen, kritisch vermindert werden. Je größer das Feuchtigkeitsdefizit der Atemluft wird, desto mehr

erhöht sich die Viskosität der Sekrete im Trachealbaum. Sie können vom Flimmerepithel nicht cranialwärts befördert werden und bleiben liegen. Sie überziehen das Flimmerepithel mit einer zäh-viskösen Schicht und schränken seine Funktion noch weiter ein. Je mehr Sekret sich auf diese Weise ansammelt, desto größer wird das Kulturmedium zur Ausbreitung von Mikroorganismen. Die Bronchialinfektion mit all ihren Folgen beginnt.

Racenberg und Tentrup (1977) beschreiben klinische Verläufe von Patienten, die mit unzureichend befeuchteter Luft beatmet worden sind und bei denen sich typische Lungenkomplikationen einstellten. Nach wenigen Stunden hatten sich Schleinkrusten in den Bronchiolen gebildet, die zu Mikroatelektasen und zu schweren Diffusionsstörungen führten. Obwohl das Sauerstoffangebot erhöht wurde, sank der Sauerstoffpartialdruck im Blut. Eine Besserung ließ sich erst durch die Beatmung mit ausreichend feuchter Luft, physikalischer Therapie und intensiven Bronchialspülungen erreichen.

Das spricht eindeutig für die Notwendigkeit einer Klimatisierung der Atemluft. Doch treten bei der Erwärmung und Anfeuchtung des Atemgases Schwierigkeiten auf. Spaepen et al. (1978) beklagen die Häufigkeit bakterieller Infektionen durch Anfeuchtersysteme und die Machtlosigkeit der Kliniker, sie zu vermeiden und wirksam zu bekämpfen.

Th.D. Graff und D.W. Benson wiesen 1969 u.a. auf die Gefahr zu hoher Feuchte der Atemluft hin. Während nach ihren Angaben bei normaler Raumtemperatur ungefähr 90% der Verlustmenge an Körpertemperatur über die Haut abgestrahlt wird, kommt bei einer Erhöhung der Raumtem-

peratur den Atemwegen eine größere Bedeutung zu, weil über die Haut durch Schwitzen nicht mehr so viel Wärme abgegeben werden kann. Die Wärme geben dann die Atemwege ab, indem sie Wasser verdunsten. Appliziert man aber zusätzlich Flüssigkeit über das Atemgas, so ist dieser Weg blockiert. Die Atemluft ist wegen ihrer eigenen hohen Feuchte nicht in der Lage, zusätzliche Flüssigkeit aufzunehmen. Der Kreislauf wird höher belastet, da durch vermehrte Hautdurchblutung versucht wird, überschüssige Wärme an die Umgebung abzugeben. Die Folge ist ein Hitzestau mit Hyperpyrexie.

D. Nelson und J.S. McDonald (1977) warnen bei der Beatmung Neugeborener vor den Folgen des sog. rainout, einer zu hohen Wasserdampfkondensation in den Beatmungsschläuchen. Dabei wird Wasser in den dünnen Beatmungsschläuchen bis in den Tubus durch den Atemgasstrom vorgetrieben, das dann die Lungen des Neugeborenen überwässern und zum Lungenödem führen kann. Aus der Wasseransammlung im Beatmungsschlauch resultieren Druckschwankungen und Flowturbulenzen, Unterschiede in den Spitzen des inspiratorischen Druckes und in den Inspirationszeiten von Atemzug zu Atemzug. Die Compliance wird u.U. drastisch erhöht.
Beide Autoren raten ebenso wie F.B. Reynolds (1974) dringend von der Verwendung eines Ultraschallverneblers für die endotracheale Beatmung ab. Die durch den Ultraschall erzeugten Wassertröpfchen lassen den Wassergehalt der Inspirationsluft so hoch ansteigen, daß Überwässerung und Lungenödem die Folgen sind. Hier wird einfach flüssiges Wasser mit dem Atemgas appliziert,

das besser gasförmig als Wasserdampf angeboten würde.

W. Wallis und W. Bachmann (1976) beschreiben in ihrer Arbeit über Atemgasanfeuchtung in der Intensivpflege einen häufig auftretenden Effekt. Physiologisch erfolgt die Feuchtigkeitsabgabe an das Atemgas im Nasen-Rachenraum durch Verdunstung, d.h. in Form molekularen Wasserdampfes. Wird die Feuchtigkeit künstlich durch Vernebler appliziert (z.B. nach dem Jet-Prinzip), so inhaliert der Patient Aerosolteilchen von 1-5 μm Durchmesser. Diese sind etwa eintausendmal größer als Wasserdampfmoleküle. Treten sie außerdem noch in hoher Nebeldichte auf (wie etwa bei einem Ultrachallvernebler), so reizen sie die Schleimhaut und führen zu den häufig beobachteten Symptomen Husten und Beklemmungsgefühl.

Besonders bei der Beatmung von Kindern und Säuglingen, deren Organismus unphysiologische Atemgase nicht in dem Maße wie der von Erwachsenen kompensieren kann, ist ein möglichst physiologisches Atemgasangebot wichtig.
Die folgende Untersuchung beschränkt sich auf labortechnisch meßbare Werte der Funktion der Anfeuchtersysteme. Die oben erwähnten klinischen Aspekte können daher nur erwähnt, nicht aber durch Zahlen belegt werden.

2. Aufbau der Testeinrichtung:

Der Testaufbau stellt einen Beatmungsplatz dar, wie er für die Beatmung von Kindern in der Intensivmedizin benutzt wird (Abb. 1: Foto - Abb.2: schematische Zeichnung).

Ein Respirator (Typ Servo-Ventilator 900 B Siemens-Elema) beatmet über ein Inspirations- und Exspirationsschlauchsystem eine Testlunge (Faltenbeutel mit 0,15 und 0,5 l Volumen). Als Schläuche werden je nach verwendetem Respirationsvolumen ein kleines Schlauchsystem mit 7 mm Durchmesser und 150 cm Länge bzw. ein großes Schlauchsystem mit 22 mm Durchmesser und 180 cm Länge - letzteres als handelsüblicher Einmalschlauch - benutzt. Im Inspirationsschenkel ist der zu untersuchende Atemgasanfeuchter angeordnet. Die Testlunge wird mit verschiedenen Atemfrequenzen und Atemminutenvolumina beatmet (s. Tab. 1).

Meßergebnisse erhalten wir an neun Meßpunkten (s. Abb. 2). Die Raumtemperatur (Meßpunkt 1) entspricht der Temperatur des Atemgases nach Austritt aus dem Respirator und vor der Erwärmung und Befeuchtung im Anfeuchter. Am Meßpunkt 2 werden über einen Leistungswandler die Stromaufnahme errechnet und die Dauer der thermostatisch geregelten Betriebsintervalle des Anfeuchters festgehalten. Die Temperatur des Atemgases wird am Anfeuchterausgang (Meßpunkt 3) und in der Mitte des Inspirationsschlauches ca. 75 cm hinter dem Anfeuchter gemessen (Meßpunkt 4). Unmittelbar vor der Testlunge, am Tubuseingang (Meßpunkte 5 und 6), wird die relative Luftfeuchtigkeit bestimmt. Gleichzeitig wird die Atemgastemperatur gemessen.

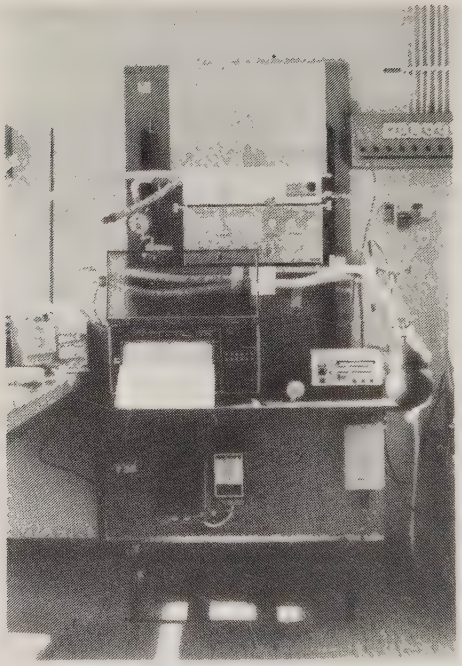


Abb. 1: Beatmungsplatz mit Servo-Ventilator, Anfeuchter, Schlauchsystem, Testlunge und Meßgeräten.

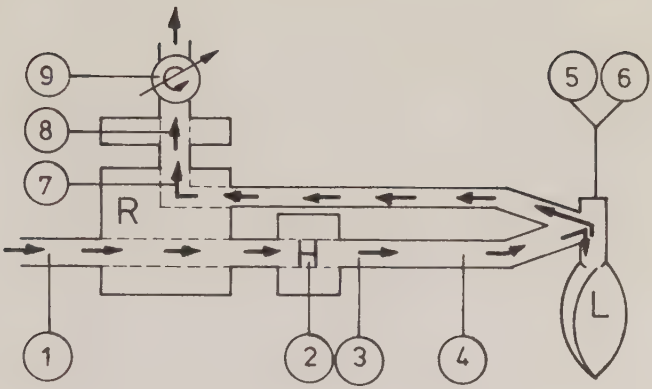


Abb. 2: Schema der Versuchsanordnung

R= Respirator
H= Anfeuchter
L= künstliche Lunge

Meßpunkte:

1 = Raumtemperatur

2 = Leistungsaufnahme des Anfeuchters

3 = Temperatur am Anfeuchterausgang

4 = Temperatur in der Mitte des Inspirationsschlauches nach ca. 75 cm

5 = Temperatur und relative Feuchte am Tubuskonnektor

6 = siehe 5

7 = Anzeige des exspiratorischen AMV am Respirator

8 = unabhäniges Meßgerät für f, V_T, AMV (Hitzedrahtanemometer)

9 = Root'sche Gasuhr für das exspiratorische AMV

Tab. 1:

Beatmungsvolumina

AMV (l/min)	Frequenz (1/min)	Atemzug-volumen (ml)	Test-lunge (l)	Schlauch-system Ø in mm
2,0	40	50	0,15	7
5,0	25	200	0,5	22
10,0	15	660	0,5	22
20,0	15	1320	0,5	22

Dieser Punkt ist besonders wichtig, weil dahinter keine weiteren äußeren Einflüsse mehr die Qualität des Inspirationsgases für den Patienten verändern, und er einen eindeutigen Parameter für die Applikationsform des Atemgases darstellt. Im Exspirationsschenkel wird über eine Windfahnenmeßeinrichtung des Respirators das exspiratorische Atemminutenvolumen gemessen (Meßpunkt 7). Um die Genauigkeit dieser Messung zu verbessern, wird das exspiratorische Atemminutenvolumen zusätzlich mit zwei weiteren, voneinander unabhängigen Methoden bestimmt, einem Hitzedrahtanemometer (Spirolog 1, Drägerwerk AG) und einer Root'schen Gasuhr (Volumeter, Drägerwerk AG) - Meßpunkte 8 und 9.

Die elektronisch gemessenen Größen mit Analogsignal (Meßpunkte 1-7) werden auf einen Zwölfkanalschreiber (Philips PM 9832) gegeben und kontinuierlich registriert. Alle Temperaturen, ausgenommen die zur Bestimmung der relativen Feuchte des Atemgases, werden mit Thermoelementen (Philips CA 3D 250/2000) ermittelt. Diese Sensoren haben durch ihre geringe Masse eine niedrige Trägheit und ermöglichen bei kontinuierlicher Registrierung Temperaturschwankungen innerhalb eines Atemzuges festzustellen. Die Werte für die relative Feuchte errechnet ein elektronischer Feuchtefühler (rotronic UP-HT1). Dieser Fühler wird in einem Tubus-Konnektor (Fabrikat Bird) so angebracht, daß es zu keinem direkten Wassertropfenbeschuß über den Atemgasstrom kommen kann, was einen Kurzschluß im Fühler zur Folge haben würde. Ebensowenig darf er in einem Bypass so geschützt untergebracht werden, daß bei zu geringer Umströmung mit feuchtem Atemgas die Feuchtemessung in der Umgebung des

Fühlers in einem Eigenklima erfolgt (s. Abb. 3 und 4). Beides führt zu falschen Ergebnissen, die nicht übereinstimmen mit der Qualität des Atemgases, wie es in den Patienten einströmt.

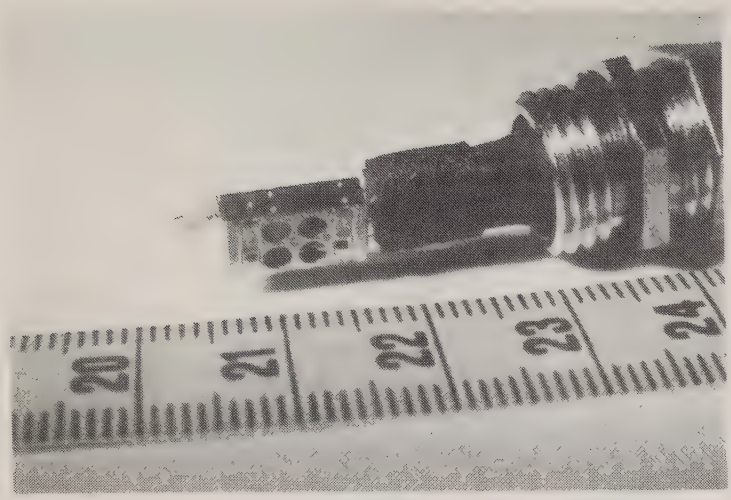


Abb. 3: Kombinierter Feuchtigkeits- und Temperaturfühler

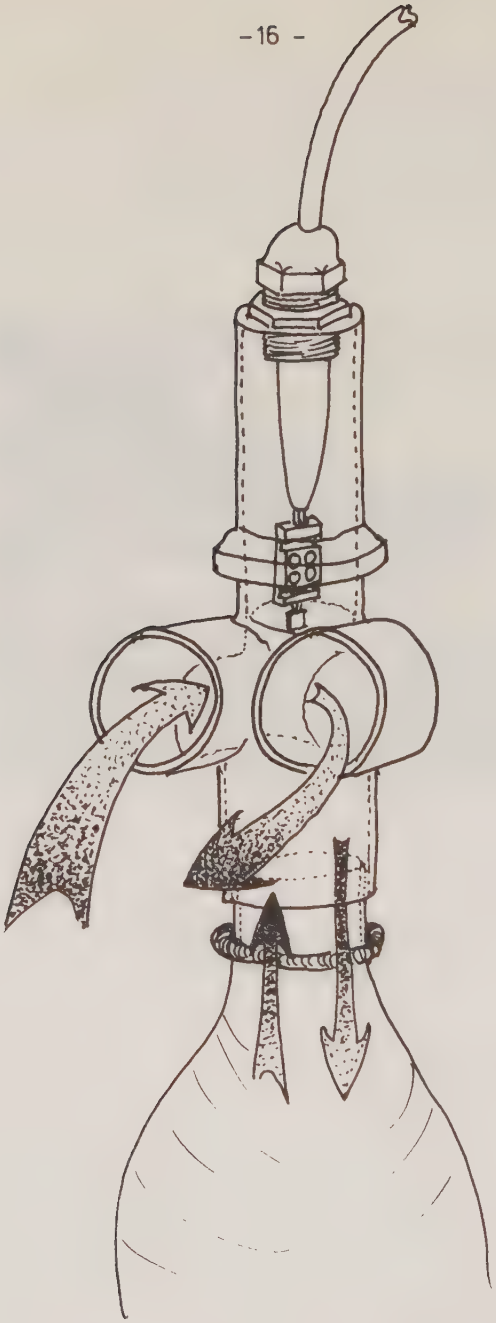


Abb. 4: Anordnung des Temperatur- und Feuchtigkeits-fühlers im Tubus

3. Eichung der Meßeinrichtungen

3.1. Eichung der Temperaturmeßvorrichtungen (Abb. 5):
Die elektronischen Thermoelemente wurden gegen ein Präzisionsquecksilberthermometer mit einer Genauigkeit von ± 0,1 °C geeicht; die Eichung erfolgte wegen der besseren Wärmeverteilung in einem Wasserbad. Die einzelnen Meßwerte sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

3.2. Eichung der spirometrischen Meßeinrichtungen (Abb. 6 und Tab. 3):
Das Hitzedraht-Anemometer und die Root'sche Gasuhr wurden gegen ein Präzisions-Rotameter geeicht; als Gas wurde wie bei den späteren Versuchen Pressluft verwendet.

3.3. Eichung des Feuchtefühlers:
Der Feuchtefühler wurde in einer speziellen Eichkammer mit definiertem Volumen mittels einer verdünnten Lithiumchloridlösung geeicht, die eine Genauigkeit von ± 0,5% relativer Feuchte aufweist und unter Berücksichtigung aller Begleitfaktoren laut Hersteller eine Genauigkeit von ± 2% r.F. des Feuchtefühlers gewährleistet. Eichgrößen waren 80% und 95% r.F.

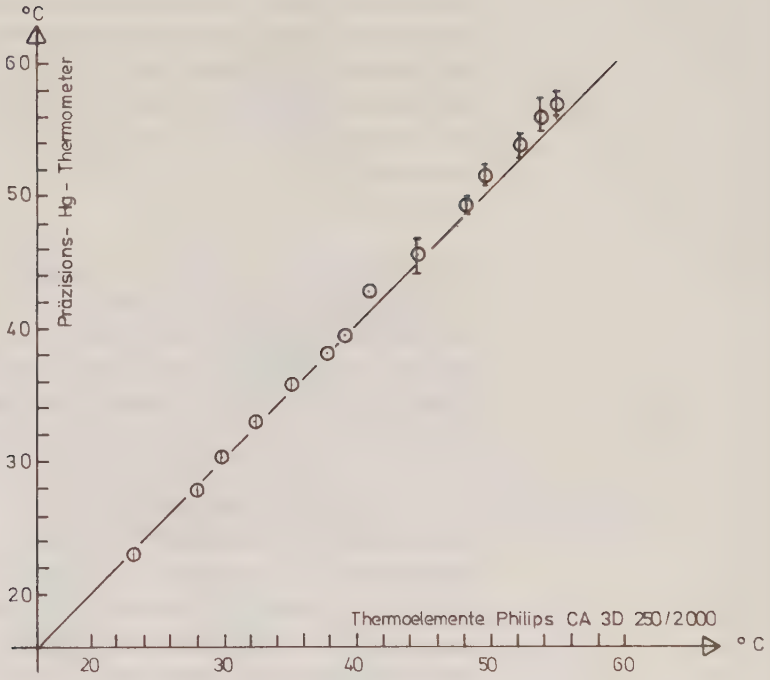
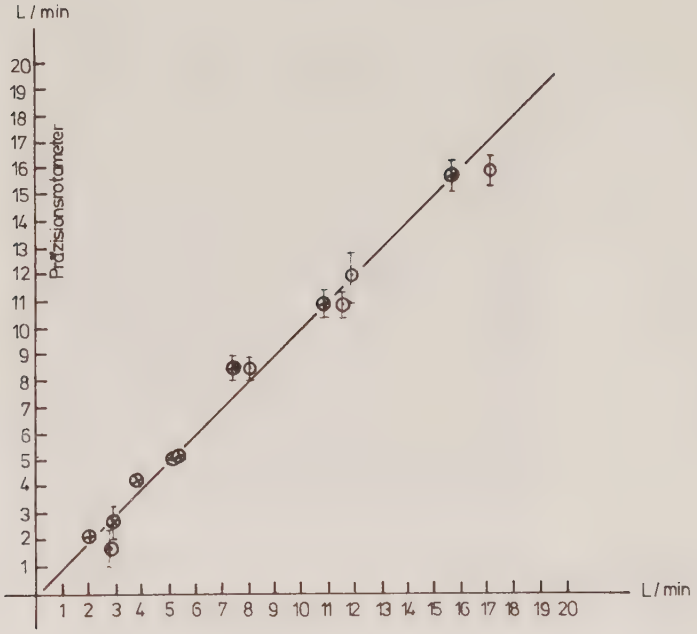


Abb. 5 : Eichkurve der Thermoelemente

Tab. 2:

Hg-Thermometer (°C)	Thermoelemente 1	2 (°C)	3	Mittelwert $\bar{x}$	Standardabweichung der Stichprobe σ n-1
23,2	23,4	23,4	23,4	23,35	0,1
28,0	28,2	28,2	28,2	28,15	0,1
30,5	30,2	30,2	30,2	30,27	0,15
33,0	32,8	32,8	32,8	32,85	0,1
35,8	35,6	35,6	35,6	35,65	0,1
38,3	38,2	38,2	38,2	38,22	0,05
39,6	39,5	39,5	39,5	39,52	0,05
42,8	41,4	41,4	41,4	41,75	0,7
45,5	45,0	45,0	45,0	45,12	0,25
49,2	48,7	48,7	48,7	48.82	0,25
51,3	50,5	50,5	50,5	50,7	0,4
53,8	52,7	52,7	52,7	52,97	0,55
55,5	54,3	54,3	54,3	54,6	0,6
56,6	55,5	55,5	55,5	55,77	0,55

Eichtabelle der Thermoelemente



⊗ = Spirolog 1 (Dräger)
⊙ = Volumeter (Dräger)

Abb. 6 : Eichkurve der spirometrischen Meß-einrichtungen

Tab. 3:

Präz.-Rotameter (l/min)	Hitzedraht-Anemometer (l/min)	Root'sche Gasuhr (l/min)	Mittelwert $\bar{x}$	σ_{n-1}
2,15	2,1	-	2,125	0,03
2,7	3,0	1,62	2,44	0,72
4,15	3,9	-	4,02	0,18
5,15	5,5	5,13	5,26	0,21
8,45	7,6	8,1	8,05	0,43
10,9	10.9	11,7	11,16	0,46
12,0	10,2	11,9	11,37	1,01
16,0	15,8	17,0	16,27	0,64

Eichtabelle der spirometrischen Meßeinrichtungen

4. Untersuchte Anfeuchtersysteme

Geprüft wurden sieben verschiedene, fabrikneue Anfeuchter, die auf dem europäischen medizintechnischen Markt erhältlich sind; sie wurden von den Herstellern unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Die Geräte im einzelnen:

1. Conchatherm Humidifier Heater
   (Catalog No. 383.00)
   Hersteller: Respiratory Care Inc.,
   Arlington Heights

2. Bennett Cascade II servo-controlled
   Hersteller: Puritan-Bennett Corp.,
   Kansas-City

3. Bird Humidifier (Model 3000)
   Hersteller: Bird Corp.

4./5. Anfeuchter 19 - altes und neues Modell
   Hersteller: Drägerwerk AG, Lübeck

6. Nufer Mistogen
   Hersteller: Nufer, Oakland California

7. Anfeuchter 20 (Aquapor)
   Hersteller: Drägerwerk AG, Lübeck.

5. Ergebnisse

5.1. Der Anfeuchter "Conchatherm Humidifier Heater". Hersteller: Respiratory Care Inc., Arlington Heights.

5.1.1. Die Heizleistung des Anfeuchters (max. 100 Watt bei 220 Volt Wechselstrom) ist stufenlos regelbar. Das eigentliche Funktionselement zur Anfeuchtung der Atemluft ist zum einmaligen Gebrauch vorgesehen und leicht auswechselbar. Es besteht aus einer wassergefüllten Säule, deren poröse Wand von trockenem Atemgas umströmt wird, wobei dieses Feuchtigkeit aufnimmt (Dochtprinzip). Umgeben wird die Säule von einer beheizten Metallröhre mit einer Oberflächentemperatur von 105°C (lt. Hersteller), die Atemgas und Wasser im Innern der Säule erwärmt. Die Heizröhre und der dazugehörige Temperaturregler sind in einem Kunststoffgehäuse untergebracht, in das die Säule von oben eingeschoben wird. Zum Befeuchten des Atemgases wird Aqua dest. benutzt, das vom Hersteller in Einmalbehältern geliefert wird. Der Wasserbehälter wird mit einer Klammer am Anfeuchtergehäuse befestigt (Abb. 7).

5.1.2. Während des Tests arbeitete der Anfeuchter mit voller Leistung (Regler auf max. - s. Tab. 4). Bei der Schalterstellung 2 -von 6 Skalenteilen- wurde bei 2 Litern Atemminutenvolumen nur eine Temperatur von 28°C am Patiententubus bei einer relativen Feuchte von 90% erreicht. Zur besseren Übersicht sind die wesentlichen Meßwerte in Abbildung 8 noch einmal grafisch wiedergegeben.

Bei voller Heizleistung liefert der Anfeuchter im Test ein Atemgas, das hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit bei allen gefahrenen Flowraten den Anforderungen genügt. Die Atemgastemperatur im Patiententubus betrug zwischen 35°C und 37°C. Die relative Luftfeuchtigkeit lag bei 5,2 l Atemminutenvolumen mit 82% und bei 10 l Atemminutenvolumen mit 84% etwas niedrig, genügte jedoch den Anforderungen.

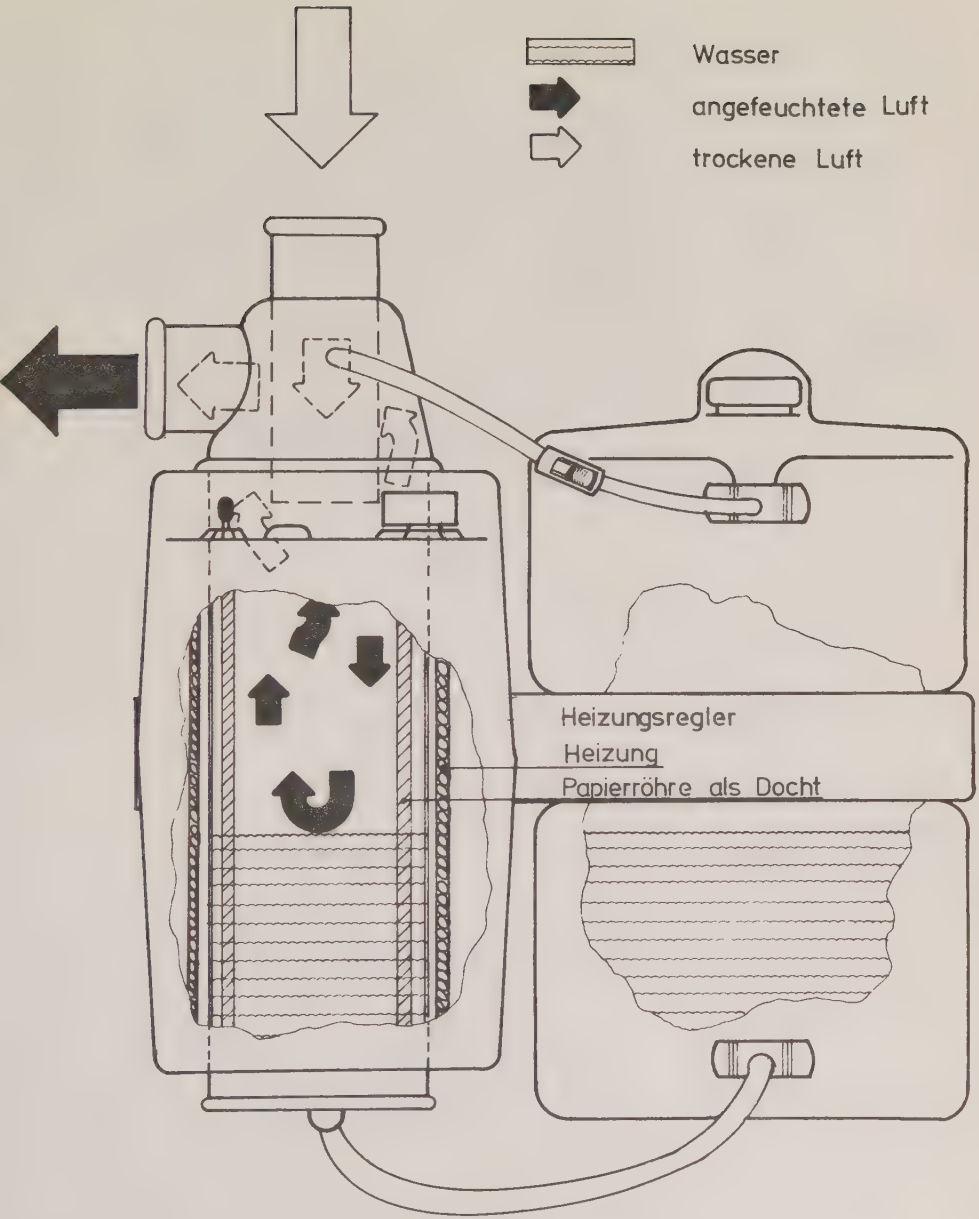


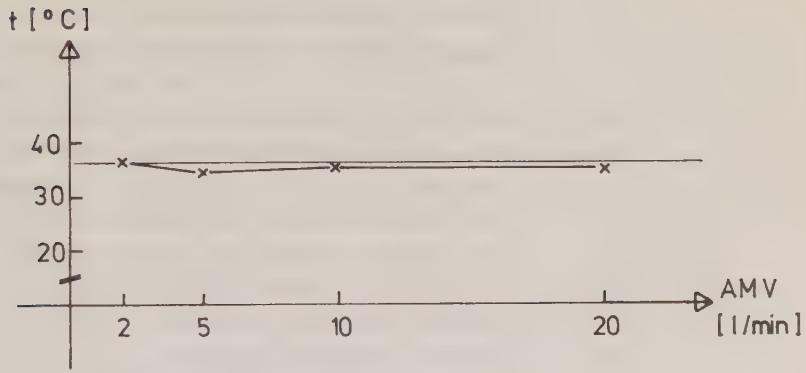
Abb. 7: „ Conchatherm "

Tab. 4:

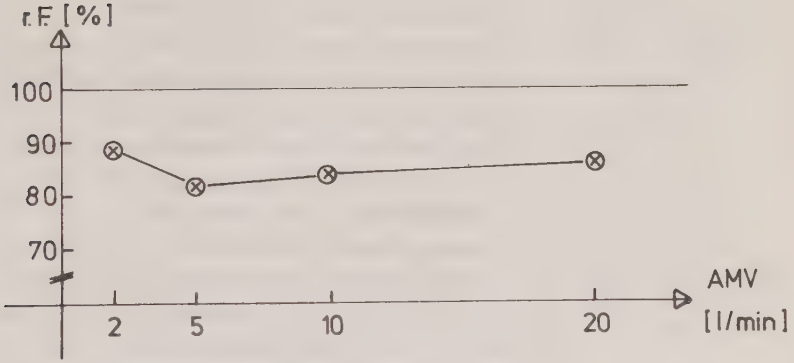
AMV (l/min)	r.F. (%)	Temperatur (°C)			
		Tubus	Schlauch-mitte	Anfeuchter-ausgang	Raum
2,0	89	37	-	-	24
5,2	82	35	41,5-42,5*	52,0-57,0	24
10,0	84	36	39,0-42,0	45,0-51,0	24
21,0	86	35,5	34,0-37,0	37,5-41,0	24

Conchatherm - Meßergebnisse

* Die Schwankungen sind durch die diskontinuierliche Ventilation bedingt. Sie verringern sich mit zunehmender Schlauchlänge.



Temperaturverhalten



relative Feuchtigkeit

Abb. 8 : „Conchatherm"
Meßergebnisse

5.1.3. Sicherheit

Während des Betriebes bei 2 Litern Atemminutenvolumen wurde die Wasserzufuhr unterbrochen, um z.B. den Fall zu simulieren, daß der Wasservorrat aufgebraucht ist. Auch dann heizt der Anfeuchter trockenes Atemgas auf. Dabei stieg die Temperatur des Atemgases während des Versuches auf 42,5°C im Patiententubus an. Der Thermostat schaltete das Gerät nicht ab, sondern regelte die Heizleistung weiter nach dem vorher eingestellten Wert. Hier wäre der Einbau einer Abschaltautomatik oder zumindest einer Warneinrichtung angezeigt.

5.1.4. Beurteilung

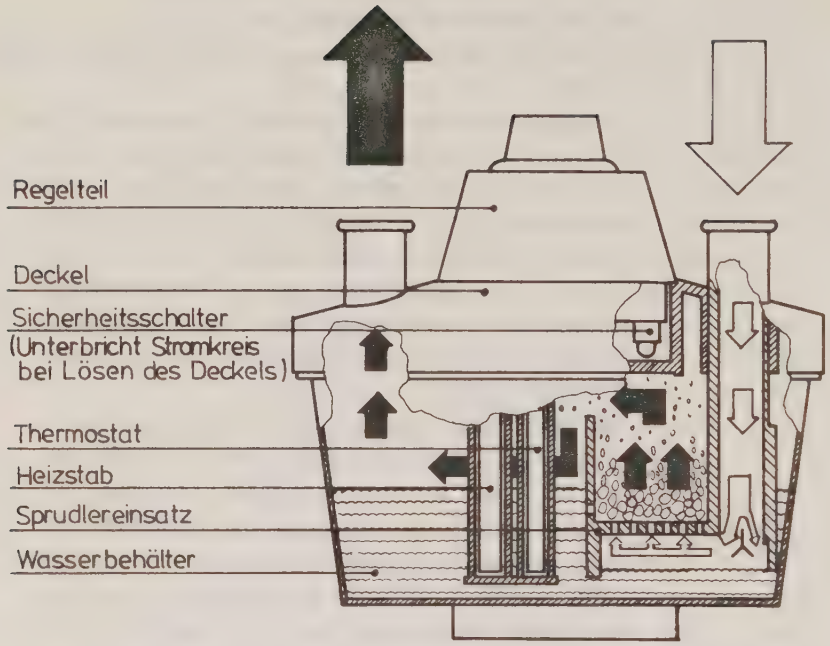
Das getestete Gerät erfüllt in den vier geprüften Arbeitsbereichen (s. Tab. 1) die Anforderungen hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit des Atemgases. Es ist leicht zu bedienen und einfach zu warten. Allerdings sind nur die speziellen Wasserbehälter des Herstellers und nicht die in der Klinik verwendeten -selbst hergestellten und kostengünstigeren- Infusionsflaschen mit Aqua dest. zu verwenden. Die Hygiene wirft wegen des Funktionselementes in Form einer Wegwerfpatrone für den Einmalgebrauch kaum Probleme auf. Die Schlauchanschlüsse entsprechen mit ihrem 22er Konus den Richtlinien der ISO. Wegen der Überhitzungsgefahr sollte eine Warneinrichtung vorgesehen werden, die einen weiteren Temperaturanstieg verhindern kann, wenn der Wasservorrat zuendegegangen ist.

5.2. Der Anfeuchter "Bennett Cascade II Humidifier servo-controlled".
Hersteller: Puritan-Bennett Corp., Kansas-City

5.2.1. Der Anfeuchter besteht im wesentlichen aus zwei Elementen. Das eine ist der eigentliche Anfeuchter, bestehend aus Wasserbehälter, Sprudlereinsatz und Deckel, an dem sich die Heizung (max. 120 Watt bei 220 Volt Wechselstrom) und der Temperaturfühler für die Heizung befinden. Das zweite Element ist ein elektronisches Kontrollteil.

Vom Respirator strömt das Atemgas in den Wasserbehälter und darin durch ein Sieb in der Nähe des Bodens, das sich unter der Wasseroberfläche befindet. Das Atemgas strömt durch das Sieb ins Wasser und reichert sich mit Feuchtigkeit an, während es an die Oberfläche sprudelt. Gleichzeitig reißt es kleinere Wasserpartikel mit, von denen die größeren Tröpfchen ausfallen, wenn es gegen den Deckel des Vorratsbehälters schlägt. Der Rest des Atemgasgemisches streicht über die warme Wasseroberfläche, reichert sich weiter mit Feuchtigkeit an und strömt am anderen Ende des Vorratsbehälters in den Inspirationsschlauch zum Patienten (Abb.9). Der Vorratsbehälter läßt sich nach Abschrauben des Deckels direkt oder während des Betriebes über eine Tropfflasche mit Aqua dest. auffüllen.

Der zweite Baustein des Gerätes ist ein Regel- und Kontrollteil, das in einem Kunststoffgehäuse untergebracht ist. Es wird auf den eigentlichen Anfeuchter aufgesteckt und mit zwei Drucktasten arretiert. Darin eingebaut ist ein elektronisches Regel-



Wasser

angefeuchtete Luft

trockene Luft

Abb. 9 : „ Bennett Cascade II "

Die Pfeile symbolisieren den Luftstrom im Funktionsschema des Anfeuchters.

system mit einem Anschluß für einen Temperaturfühler, der patientennah am Tubus befestigt wird. Erreicht das Atemgas dort eine Temperatur von 41°C, so löst das Gerät einen optischen und akustischen Alarm aus. Das Kontrollteil hat einen stufenlosen Heizungsregler mit Temperaturskala und zusätzlich eine Leuchtdiodenanzeige für die aktuelle Atemgastemperatur im Patiententubus. Das gesamte Gerät wird mit vier Schrauben direkt am Respirator oder an einem Stativ befestigt.

5.2.2. Die Meßergebnisse (s. Tab. 5) wurden bei der Reglerstellung 37°C erreicht. Wegen der besseren Übersicht sind sie in Abbildung 10 noch einmal grafisch wiedergegeben.

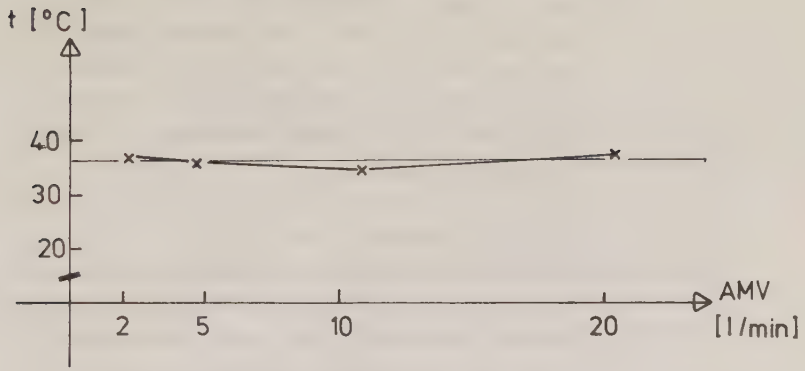
Während der einzelnen Testphasen erreichte der Anfeuchter stets die geforderten Sollwerte in Bezug auf Temperatur und Feuchtigkeit des Atemgases. Dabei fiel der Prozentsatz für die relative Feuchtigkeit zwar mit zunehmendem Gasstrom ab, erreichte aber bei einem Atemminutenvolumen von 20 Litern noch 82%, bei 11 Litern 79%. Der Wasserdampfgehalt des Atemgases war auch bei diesen Flowraten noch groß genug, da er auf 35 bzw. 37,5°C bezogen werden muß. Durch die elektronische Temperaturregelung blieb die Temperatur des Atemgases im Patiententubus relativ konstant (35-38°C) und brauchte nicht nachreguliert zu werden.

Die Ergebnisse bei einer Flowrate von 5 Litern pro Minute, 37°C im Tubus und 94% relative Feuchte kamen nach 30-minütigem Vorlauf zustande. Diese Zeit benötigte das Gerät, um das Wasserbad aufzuheizen und eine gleichmäßige Temperatur des Atemgases

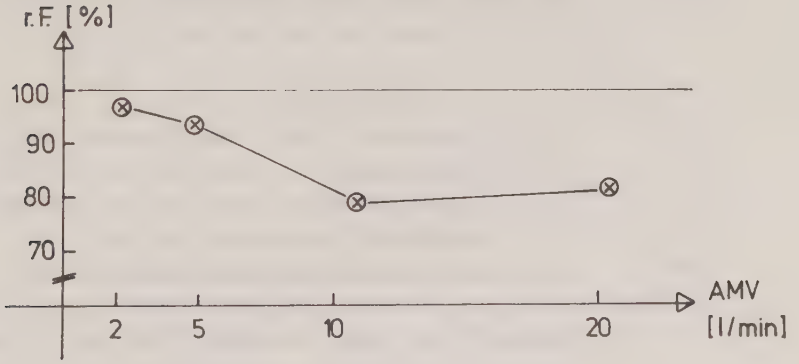
Tabelle 5:

AMV (l/min)	r.F. (%)	Temperatur (°C)			
		Tubus	Schlauch-mitte	Anfeuchter-ausgang	Raum
2,3	97	38	-	58-68	24
5,0	94	37	53-54	63-65	24
11,0	79	35	46-50	49-53	24
20,5	82	37,5	44-45,5	45-47	24

Bennett Cascade II - Meßergebnisse



Temperaturverhalten



relative Feuchtigkeit

Abb. 10: „ Bennett Cascade II "
Meßergebnisse

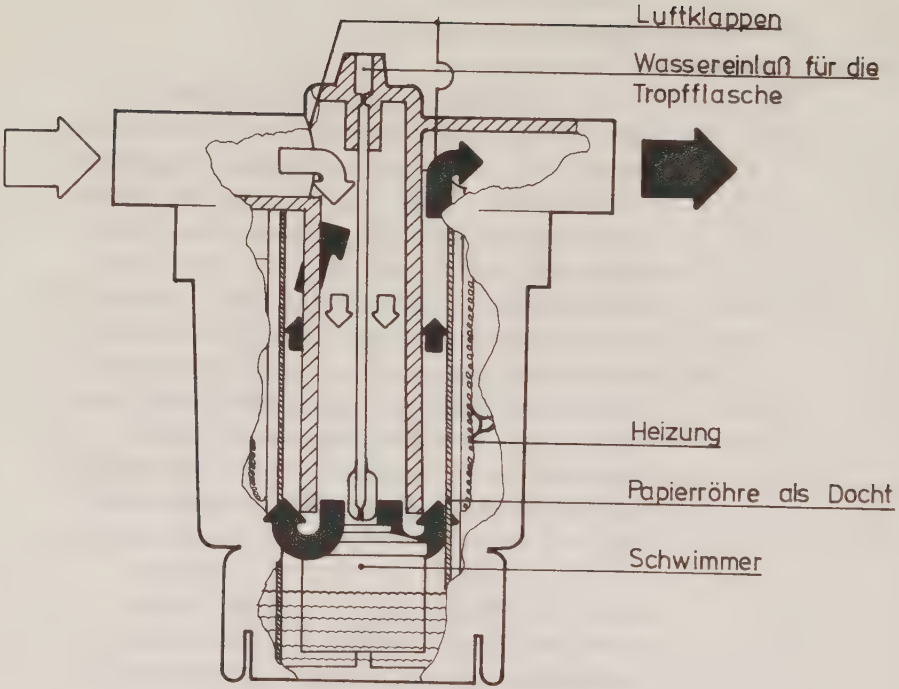
im Schlauchsystem (Totraumluft) zu gewährleisten. Seinen schwächsten Punkt erreichte das Gerät bei einem Atemminutenvolumen von 11 Litern mit 35°C Atemgastemperatur im Tubus bei einer relativen Feuchte von 79%. Diese Werte erfüllen die Anforderungen.

5.2.3. Sicherheit
Der Anfeuchter löste bei abgeschaltetem Respirator, d.h. ohne kühlende Frischgaszufuhr nach 20-minütiger Betriebsdauer Alarm aus und schaltete die Heizung ab. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Temperatur im Tubus 41°C. Diese Testsituation sollte den Fall einer losen bzw. unterbrochenen Schlauchverbindung simulieren, wie er im täglichen Betrieb hin und wieder auftritt.

5.2.4. Beurteilung
Die elektronische Temperaturregelung mit Messung am Patienten macht den Anfeuchter sehr bedienungssicher. Bei Überhitzung auf 41°C wurde ein Alarm ausgelöst und die Heizung abgeschaltet. In den getesteten vier Arbeitsbereichen wurden die erforderlichen Temperatur- und Feuchtigkeitswerte erreicht. Das Anfeuchterteil läßt sich leicht zerlegen und reinigen, die Schlauchanschlüsse sind genormt (22 mm). Das Gerät sollte in Bezug auf bakterielle Kontamination jedoch einmal untersucht werden, da der große und beheizte Wasservorrat einen potentiellen Nährboden für einige weniger empfindliche Keime darstellt.

5.3. Der Anfeuchter " Bird Humidifier Model No. 3000";
Hersteller: Bird Corp.

5.3.1. Der Bird Anfeuchter arbeitet nach dem Dochtprinzip. In einem Wasserreservoir, dessen Höhe durch einen Schwimmer reguliert wird, fließt Wasser (Aqua dest.) aus einer Tropfflasche. In das Wasserreservoir wird ein Hohlzylinder aus sterilem Papier getaucht, der als Docht wirkt. Er liegt eng an einer Heizröhre und bietet dem darüber geleiteten Atemgas eine große Austauschfläche. Das trockene Gas fließt durch einen Stutzen in den Anfeuchterdeckel; dabei werden Ein- und Ausstrom durch zwei Klappen reguliert. Das einströmende Atemgas wird dann bis hinunter auf den Schwimmer geleitet. Von dort streicht es über das feuchte Papier an der Heizröhre entlang wieder empor (Abb. 11), verläßt den Anfeuchter durch eine Klappe im Deckel und strömt in den Inspirationsschlauch zum Patienten. Unmittelbar vor dem Patiententubus streicht es dann an einem Temperaturfühler vorbei, der über ein Kontrollteil die Heizung des Anfeuchters regelt. Sie ist mit einem Stellknopf bis zu einer Leistung von maximal 180 Watt bei 220 Volt Wechselstrom regelbar. Das Kontrollteil ist über eine Steckverbindung mit dem Anfeuchter gekoppelt. Es ist mit einer optischen und akustischen Warneinrichtung für Temperaturanstiege auf über 41°C am Patiententubus ausgestattet. Der Anfeuchter kann bis auf das Kontrollteil sterilisiert werden; während des Betriebes wird er an einem Stativ befestigt.



Wasser

angefeuchtete Luft

trockene Luft

Abb. 11 : „ Bird Humidifier "
Die Pfeile symbolisieren den Luftstrom

5.3.2. Die einzelnen Meßergebnisse sind aus Tabelle 6 ersichtlich. In Abbildung 12 sind sie noch einmal grafisch dargestellt.

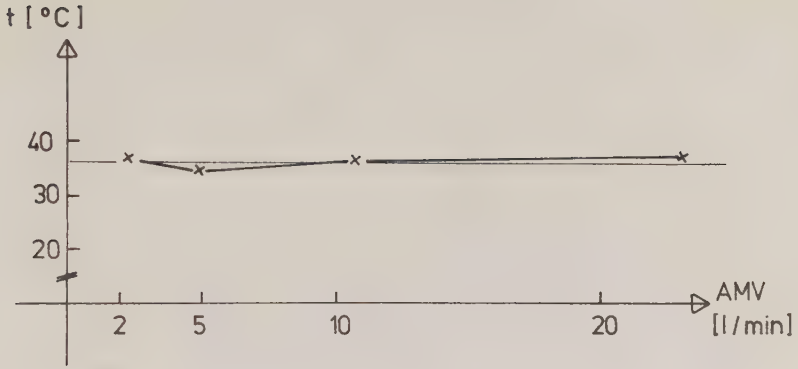
Die Atemgastemperatur im Tubus betrug je nach Durchströmung mit Atemgas zwischen 35°C und 37,5°C. In allen Arbeitsbereichen, die getestet wurden, lag der Feuchtigkeitsgehalt der Luft über 90% r.F. Er schwankte genau zwischen 91% und 97,5% relativer Feuchte. Während der Beatmung entstanden im Schlauchsystem Temperaturdifferenzen von teilweise 24°C, abhängig von Atemgasflow und Atempausen. Bei dem verwendeten Schlauchsystem verringerten sich die Differenzen über die Schlauchlänge und erreichten am Ende des Inspirationsschlauches, am Patiententubus, konstante Werte.

5.3.3. Sicherheit
Der Überhitzungsalarm wurde bei einer Temperatur von 40,9°C am Patiententubus ausgelöst und erlosch, nachdem die Temperatur auf 39,7°C zurückgegangen war. Während des Alarms blieb die Heizung automatisch abgeschaltet.
Im kleinen Schlauchsystem für die Säuglingsbeatmung sammelte sich bei einem Atemminutenvolumen von 2 Litern sehr viel Kondenswasser an, was sich auf die Compliance auswirken muß. Das ist möglicherweise auf die recht hohen Temperaturschwankungen im Beatmungsschlauch des Inspirationsschenkels zurückzuführen. Diese Schwankungen gleichen sich über die Schlauchlänge bis zum Patienten hin aus.
Um die Gefahr einer Aspiration von Kondenswasser zu vermeiden, müssen zuverlässige und ausreichend groß dimensionierte Wasserabscheider in den Inspirationsschlauch eingebaut werden.

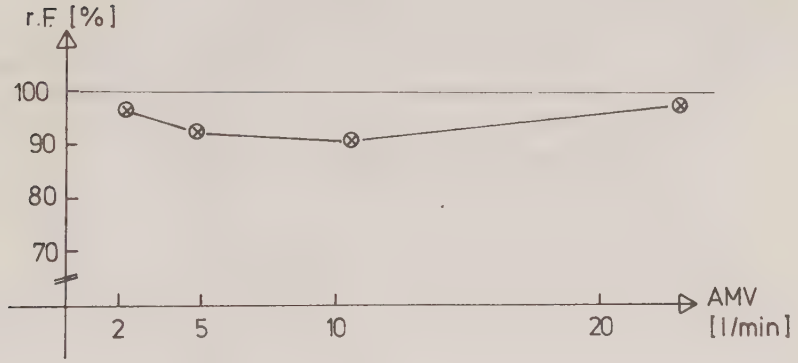
Tabelle 6:

AMV (l/min)	r.F. (%)	Temperatur (°C)			
		Tubus	Schlauch-mitte	Anfeuchter-ausgang	Raum
2,4	96,5	37	-	53-77	21,5
5,0	92,5	35	47-65,5	55-71	22
10,8	91	37	40-49	40-54	22
23,2	97,5	37,5	40-45	41-53	22,5

Bird Humidifier - Meßergebnisse



Temperaturverhalten



relative Feuchkeit

Abb. 12: „ Bird Humidifier "
Meßergebnisse

5.3.4. Beurteilung

Die gewünschte Atemgastemperatur am Patienten ließ sich nur mühsam einstellen. Einziges Hilfsmittel dafür ist ein ungenaues, kleines Thermometer, das neben den Temperaturfühler des Heizungsreglers in ein Zwischenstück am Patiententubus gesteckt wird. Mit der willkürlichen Skaleneinteilung des Heizungsreglers gelang es im Versuch erst nach 30 Minuten feinfühligen Nachregulierens, die gewünschte Temperatur zu erreichen. Damit ist eine sichere Vorwahl der Atemgastemperatur durch das Pflegepersonal kaum möglich.

Der Anfeuchter ist zum Säubern und Sterilisieren ohne Werkzeuge zerlegbar. Doch sind die vielen Einzelteile beim anschließenden Zusammenbau hinderlich. Die Schlauchanschlüsse sind genormt (22 mm Konus). Die erforderlichen Temperatur- und Feuchtewerte des Atemgases wurden in allen getesteten Arbeitsbereichen erfüllt.

5.4./5.5. Der "Anfeuchter 19".
Hersteller: Drägerwerk AG, Lübeck.
Zur Prüfung kamen ein altes Modell und ein neues mit modifiziertem Transformator.
Beide Geräte waren fabrikneu.

5.4.1./5.5.1. Der Anfeuchter 19 verdampft Wasser mit hoher Temperatur (100°C), um das Atemgas anzufeuchten. Dazu fließt aus einer Tropfflasche Aqua dest. auf einen Heizstab und verdampft. Der Dampf und überschüssiges Wasser treten in den Verdampfertopf, in den das trockene Atemgas einströmt. Dort vermischen sich der Dampf und das trockene Atemgas. Das Atemgas erwärmt sich und wird mit Feuchtigkeit angereichert. Nach Verlassen des Verdampfertopfes kühlt sich das erhitzte Atemgas im Inspirationsschlauch auf physiologische Temperaturen ab. Dabei kondensiert Wasserdampf an den Schlauchwänden, das in einem Wasserabscheider vor dem Patienten aufgefangen wird. Überschüssiges Wasser aus dem Verdampfungsprozess wird über ein Schwimmerventil in einen Auffangbehälter geleitet (Abb. 13).
Die Exspirationsluft des Patienten wird über eine getrennte Bohrung wieder durch den heißen Verdampfertopf geführt, um eine Kondensation im Respirator zu vermeiden.
Der Heizstab im Verdampfertopf arbeitet mit einer Schutzkleinspannung (24/21 Volt beim alten bzw. 18-26 Volt beim neuen Modell) und leistet mit dem alten, in zwei Stufen schaltbaren Transformator 32,5 und 44,5 Watt, mit dem neuen sechsstufigen Trafo 33,5 bis 48 Watt. Beide Transformatoren werden mit 220 Volt Wechselstrom betrieben.

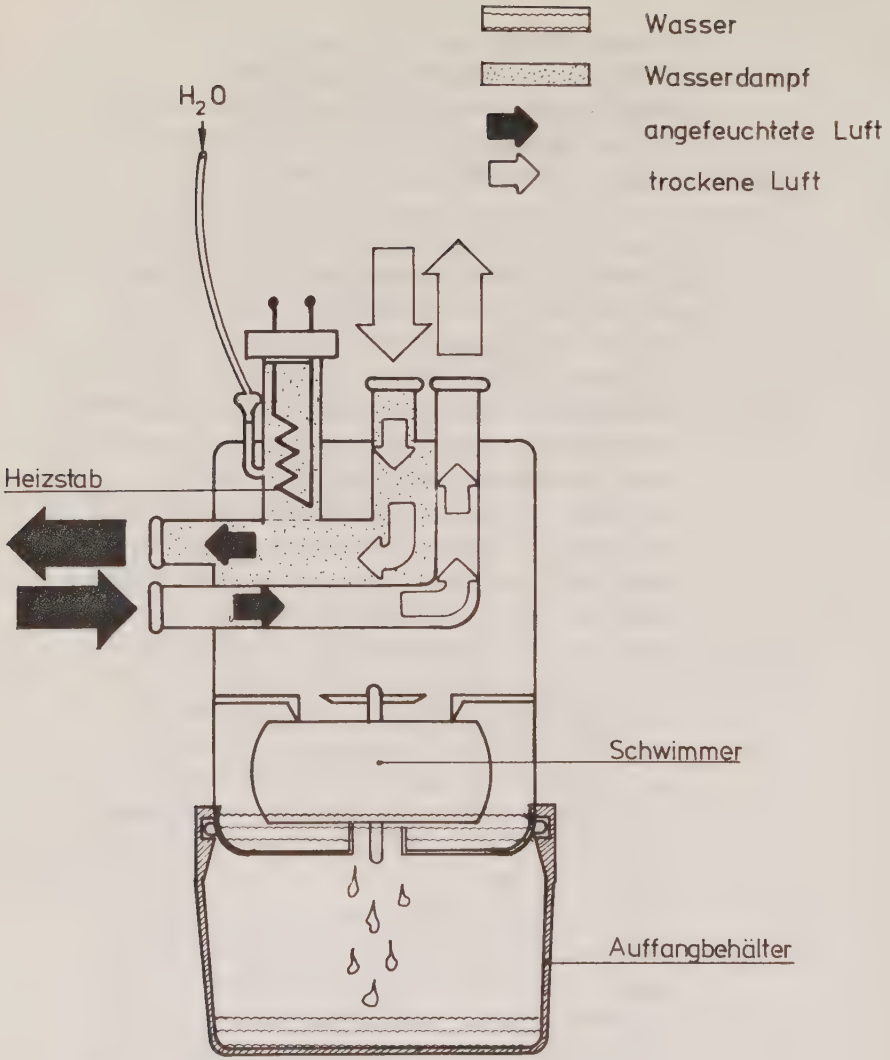


Abb. 13 : „ Anfeuchter 19 "

Sie können auf eine Unterlage gestellt oder mit einer Klaue an einer Schiene befestigt werden. Der Anfeuchter selbst hängt mit einem Ring an einem Gelenkarm.

5.4.2. Die Meßergebnisse des früheren Modells erhielten wir aus dem Betrieb mit voller Leistung (Schaltstufe 1). Die Meßwerte sind in Tabelle 7 und in Abbildung 14 wiedergegeben.
Die Luftfeuchtigkeit, die im Patiententubus gemessen wurde, lag stets zwischen 98% und 100% r.F., d.h. um den Sättigungspunkt. In der oben beschriebenen Versuchsanordnung konnten wir im Patiententubus nur Temperaturen zwischen 22,5°C und 24,5°C messen. Am Anfeuchterausgang betrug die Atemgastemperatur je nach Ventilation zwischen 37°C und58°C. Im Inspirationsschlauch wurde die Temperatur bis zum Patienten auf die niedrigen Werte abgekühlt. Das Atemgas kam am Patienten zwar wasserdampfgesättigt aber kaum wärmer als die Raumluft an.

5.5.2. Auch das neue Modell wurde mit der größten Schaltstufe bei maximaler Leistung betrieben. Die Meßergebnisse sind in Tabelle 8 und in Abbildung 15 aufgeführt. Die gemessenen Temperatur- und Feuchtigkeitswerte weichen kaum von denen des früheren Modells ab.
Die Atemgastemperatur im Patiententubus lag je nach durchströmender Gasmenge zwischen 22 °C und 23,5°C mit einer relativen Feuchtigkeit von 97,5% bis 98%. Die Atemgastemperatur wurde 2°C höher gemessen als die Raumtemperatur. Am Anfeuchterausgang erreichte die Atemgastemperatur abhängig von durchströmendem Atemminuten-

Tabelle 7:

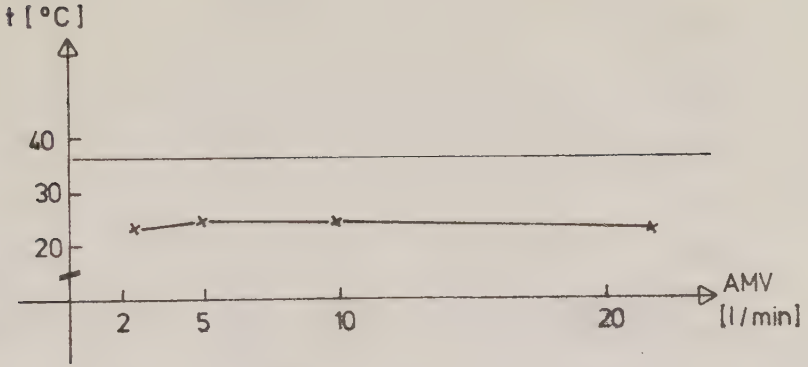
AMV (l/min)	r.F. (%)	Temperatur (°C)			
		Tubus	Schlauch-mitte	Anfeuchter-ausgang	Raum
2,4	100	23	-	37-40	22
5,0	98	24,5	33-34,5	45-46	22,5
9,8	100	24,5	30-40	45-53,5	23
21,8	99	22,5	30-33	53-58	23,5

Anfeuchter 19 (früheres Modell) - Meßergebnisse

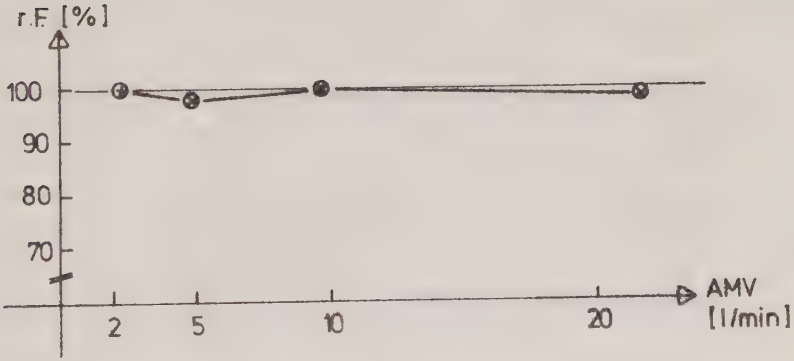
Tabelle 8:

AMV (l/min)	r.F. (%)	Temperatur (°C)			
		Tubus	Schlauch-mitte	Anfeuchter-ausgang	Raum
2,3	98	22,5	-	49-55	21
4,9	98	22	37,0-37,5	52-54	21,5
10,2	97,5	23,5	33,0-3[illegible],0	50-54	21,5
21,2	98	22	29,5-31,0	50-56	21,5

Anfeuchter 19 (neues Modell) - Meßergebnisse

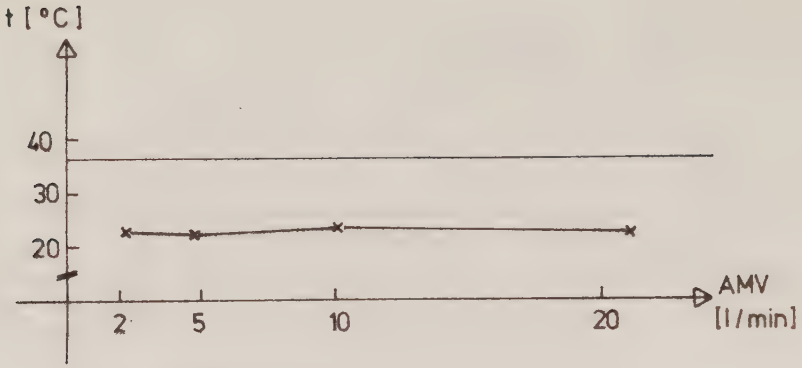


Temperaturverhalten

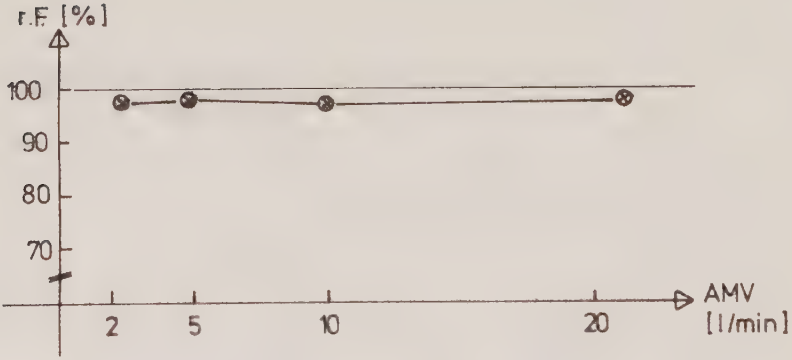


relative Feuchtigkeit

Abb. 14: „ Anfeuchter 19 " (früheres Modell)
Meßergebnisse



Temperaturverhalten



relative Feuchtigkeit

Abb. 15: „ Anfeuchter 19 " (neues Modell)
Meßergebnisse

volumen und Atempausen 49°C bis 56°C.
Bei beiden Modellen des "Anfeuchter 19" erreichte die Testlunge ein zwar wasserdampfgesättigtes aber nicht ausreichend erwärmtes Atemgas. Das veranlasste uns, den Temperaturabfall im Schlauchsystem zu untersuchen (s. Kapitel 6).

5.4.3./5.5.3. Sicherheit
Da beide Geräte mit Schutzkleinspannung arbeiten, erhöht sich die Sicherheit für Patienten und Personal. Eine Warneinrichtung gegen Überhitzung erscheint trotz der erreichten niedrigen Temperaturen notwendig, wenn das Gerät in Verbindung mit Inkubatoren benutzt wird.

5.4.4./5.5.4. Beurteilung
Sowohl das frühere Modell des "Anfeuchter 19" als auch das neue besitzen den gleichen Verdampfertopf. Sie unterscheiden sich lediglich in ihren Transformatoren, was allerdings für die Meßergebnisse keine wesentlichen Auswirkungen hatte. Daher werden beide Modelle in dieser Beurteilung gemeinsam abgehandelt.

Der "Anfeuchter 19" ist sehr robust konstruiert und besteht aus nur wenigen Einzelteilen. Diese sind alle sterilisierrbar. Das Arbeitsprinzip der Verdampfung bietet den Vorteil einer geringen Gefahr bakterieller Kontamination, da im Verdampfertopf bei rund 100°C die Temperatur für ein Wachstum von Bakterien zu hoch ist. Außerdem fehlen geeignete Nährböden infolge des steten Wasserabflusses. Aus hygienischen Gründen ist dieses Gerät daher besonders für die Langzeitbeatmung Neu- und Frühgeborener, die wegen ihres labilen Immunsystems besonders

anfällig für pulmonale Infektionen sind.

Nachteilig an dem Gerät ist, daß die Atemgastemperatur im Patiententubus zu niedrig ist. Dies trifft besonders beim Gebrauch herkömmlicher Einmalschläuche zu. Das ließe sich zwar durch Kürzen der Schläuche oder durch andere Wasserfallen zum Teil ausgleichen (s. Kapitel 6), doch lassen sich diese Maßnahmen in der Praxis nicht immer zufriedenstellend realisieren. Beim Betrieb des Gerätes zusammen mit einem Inkubator für die Neugeborenenbeatmung treten allerdings kaum Probleme auf, weil in diesem Falle eine Abkühlung des Atemgases im distalen Schlauchabschnitt wegen der Temperatur im Inkubator von mehr als 30°C unterbleibt.
Die Handhabung des Gerätes ist einfach, und die robuste Verarbeitung läßt eine lange Gebrauchsdauer erwarten. Die Anschlüsse für die Patientenschläuche sind aus Metall und werden während des Betriebes sehr heiß, so daß ein Wechseln der Schläuche erst nach Abkühlung ratsam ist. Die Schlauchanschlüsse entsprechen nicht der Norm und machen Adapter oder spezeille Schläuche erforderlich.

5.6. Der Anfeuchter "Nufer Mistogen". Hersteller: Nufer, Oakland California.

5.6.1. Der "Nufer Mistogen" ist ein sehr einfaches und kompaktes Gerät mit nur vier Einzelteilen: Wasserbehälter, Deckel, einschiebbarer Heizung und Thermometer. Durch eine Öffnung im Deckel strömt das trockene Atemgas in den Wasserbehälter. Dort streicht es über das von einem Heizstab erwärmte Aqua dest. , nimmt Feuchtigkeit auf und tritt dann durch eine zweite Öffnung im Deckel in den Patientenschlauch (Abb. 16). Die Heizung ist stufenlos regelbar und leistet maximal 114 Watt bei 220 Volt Wechselstrom.

5.6.2. Der Versuch wurde mit voller Heizleistung des Gerätes durchgeführt. Die Temperatur des Wasserbades im Anfeuchter erreichte je nach durchströmendem Gasvolumen zwischen 48°C und 54,5°C. Diese Temperatur, die am Thermometer des Gerätes abgelesen wird, zeigt jedoch nicht die relevante Temperatur des Atemgases im Patiententubus an, sondern die Temperatur des Wasserbades im Anfeuchter. Die Meßergebnisse finden sich in Tabelle 9 und Abbildung 17.

Die relative Feuchtigkeit des Atemgases erreichte im Patiententubus über alle geprüften Beatmungsgrößen fast den Sättigungspunkt (98,5%-100%). Die Atemgastemperatur blieb allerdings in allen Arbeitsbereichen hinter den erforderlichen Werten zurück. Besonders niedrige Temperaturen wurden bei geringen Atemminutenvolumina erreicht (23,5°C bei 2,5 l/min, 24°C bei 4,9 l/min und 25°C bei 10,5 l/min). Die Atemgastemperaturen am Anfeuchterausgang lagen

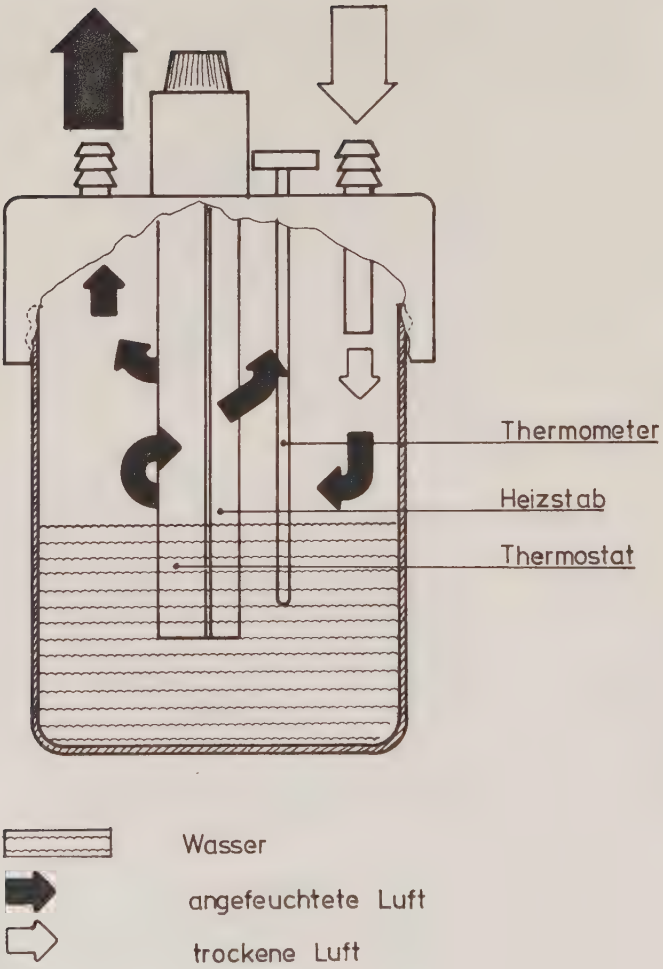
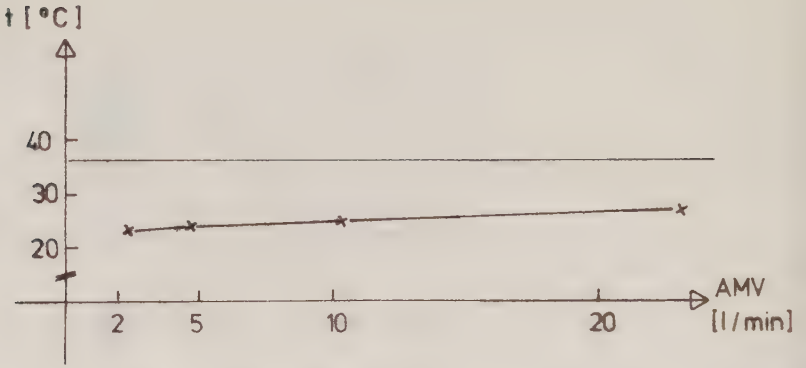


Abb. 16 : „ Nufer - Mistogen "

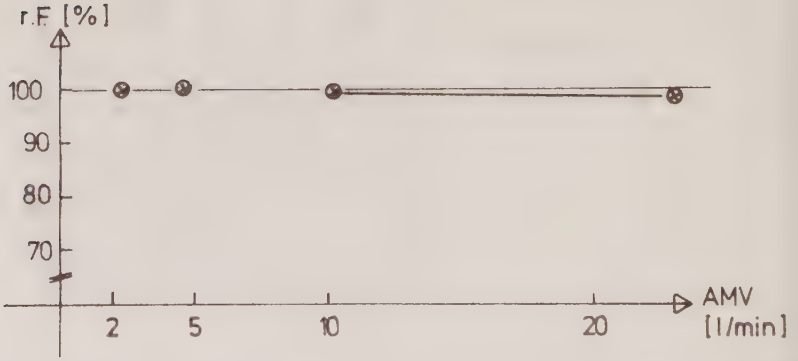
Tabelle 9:

AMV (l/min)	r.F. (%)	Temperatur (°C)			
		Tubus	Schlauch-mitte	Anfeuchter-ausgang	Raum
2,5	100	23,5	-	41-43	22
4,9	100	24	28,5-30,5	36-38	22,5
10,5	99,5	25	30,0-31,0	33-34	23
23,2	98,5	27	30,0-33,0	31-34	23,5

Nufer Mistogen - Meßergebnisse



Temperaturverhalten



relative Feuchtigkeit

Abb. 17 : „ Nufer Mistogen"
Meßergebnisse

zwischen 31°C und 43°C (abhängig vom jeweiligen AMV). In der Mitte des Inspirationsschlauches wurden Temperaturen zwischen 28,5°C und 33°C gemessen.

5.6.3. Sicherheit

Die Temperatur des Atemgases im Patiententubus lag maximal 3,5°C über der Raumtemperatur. Damit hat ein fehlender Schutz des Gerätes gegen Überhitzung kaum Bedeutung für die Praxis, denn alle im Patiententubus gemessenen Atemgastemperaturen lagen weit unterhalb der kritischen Schwelle.

5.6.4. Beurteilung

Der "Nufer Mistogen" ist ein sehr kompaktes, in der Handhabung einfaches Gerät. Die geringe Anzahl der Einzelteile macht Bedienung und Reinigung sehr einfach. Negativ zu bewerten ist dagegen die alleinige Temperaturkontrolle im Wasserbad des Anfeuchters. Sie läßt einen Rückschluß auf die tatsächliche Temperatur des Atemgases am Patienten nur unter Berücksichtigung von Ventilationsvolumen und Schlauchsystem zu. Das ist aber praktisch kaum möglich. Hier wäre eine Temperaturmessung nahe dem Patienten sinnvoller. Die Schlauchanschlüsse haben einen Durchmesser von nur 7,4 mm und machen Adapter erforderlich, wenn man herkömmliche Beatmungsschläuche verwenden will. Die niedrige Temperatur des Atemgases am Patienten beschränkt die Einsatzmöglichkeiten des Gerätes ähnlich wie die des"Anfeuchter 19" von Dräger, jedoch ohne dessen hygienischen Vorteil. In Bezug auf die Gefahr einer Keimbesiedlung sollte der Anfeuchter wegen seines großen beheizten Wasservorrats einmal untersucht werden.

5.7. Der "Anfeuchter 20 (Aquapor)";
Hersteller: Drägerwerk AG, Lübeck

5.7.1. Der"Anfeuchter 20" besteht aus dem eigentlichen, sterilisierbaren Anfeuchterteil und aus einem aufschraubbaren Aufsatz, der Heizung und Regelelektronik enthält. Das trockene Atemgas aus dem Respirator wird durch ein zentrales Rohr in den Wasserbehälter unter einen Schwimmer geleitet. Dieser läßt das Atemgas unabhängig vom Wasserstand direkt über das erwärmte Wasser strömen (Abb. 18). Das warme und feuchte Atemgas verläßt den Anfeuchter seitlich in den Inspirationsschlauch.
Der Aufsatz enthält eine stufenlos regelbare Heizung mit maximal 158 Watt Leistungsaufnahme bei 220 Volt Wechselstrom. Der Heizungs- und Thermostatstab sind am Deckel befestigt und hängen ins Wasserbad herab. Neben dem Regler für die Heizung befinden sich Netzschalter mit Kontrollampe, eine Kontrollampe für den Betrieb der Heizung und eine Warnlampe, die einen Temperaturanstieg auf 41°C im Y-Stück des Inspirationsschlauches signalisiert. Dazu müssen die Originalschläuche des Herstellers verwendet werden. Leuchtet die Warnlampe auf, so wird gleichzeitig der Netzstrom abgeschaltet. Der komplette Anfeuchter wird mit einer Klaue an einer Schiene befestigt.

5.7.2. Die Meßergebnisse in Tabelle 10 und Abbildung 19 beziehen sich auf den Betrieb mit maximaler Heizleistung. Die vom Hersteller vorgeschriebene Aufheizzeit von 20 bis 30 Minuten wurde eingehalten. Da der Anfeuchter nur für eine Beatmung mit einem Atemminutenvolumen von über 5 Litern vorgesehen ist, entfiel die Funktionsprüfung

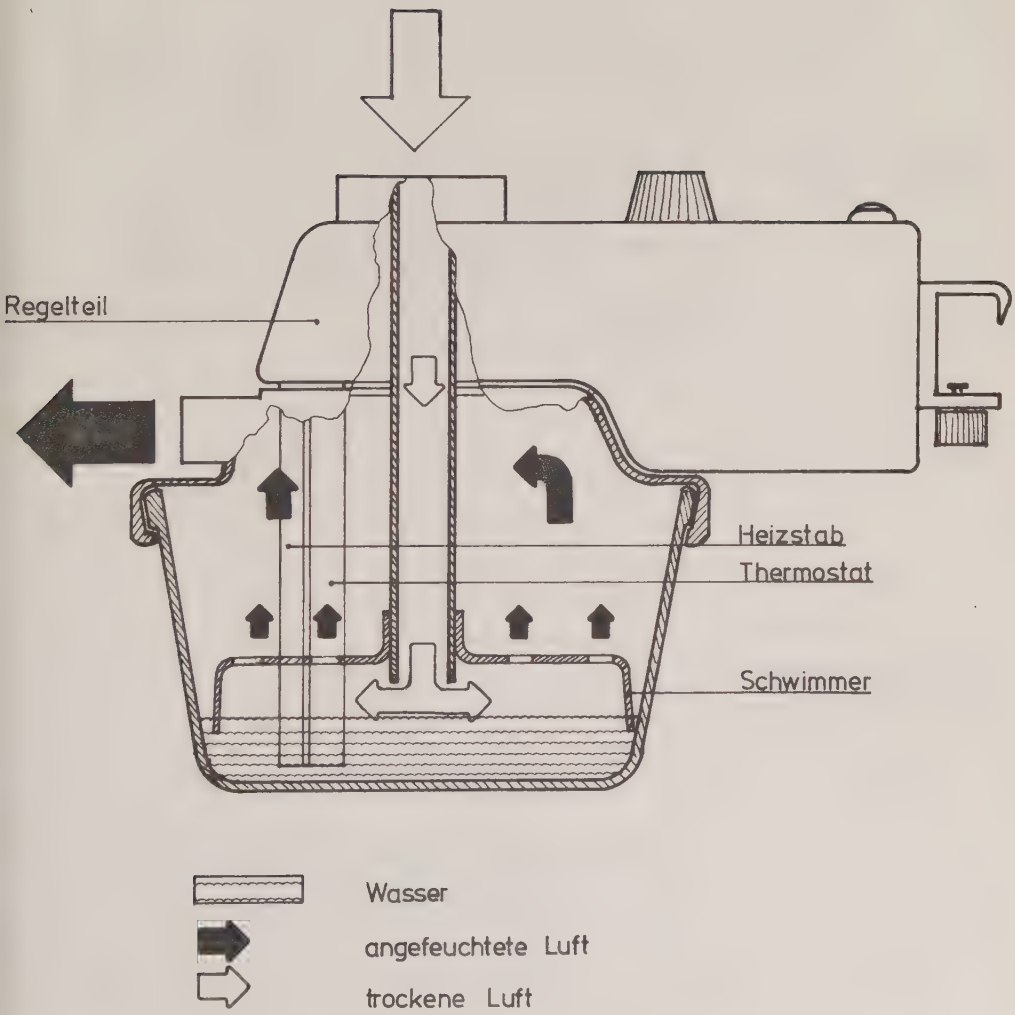


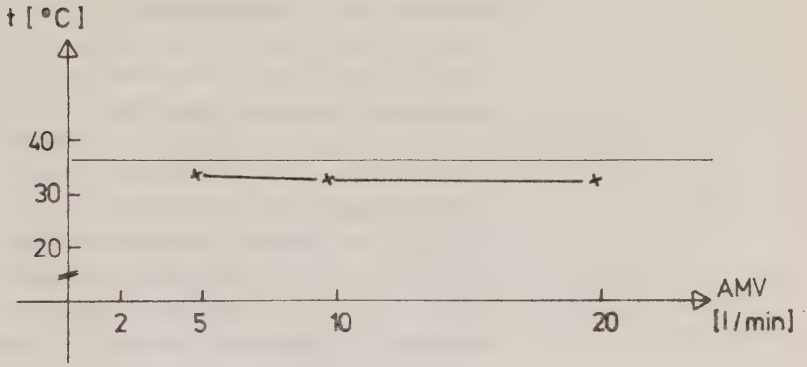
Abb. 18: „ Anfeuchter 20 "

Tabelle 10:

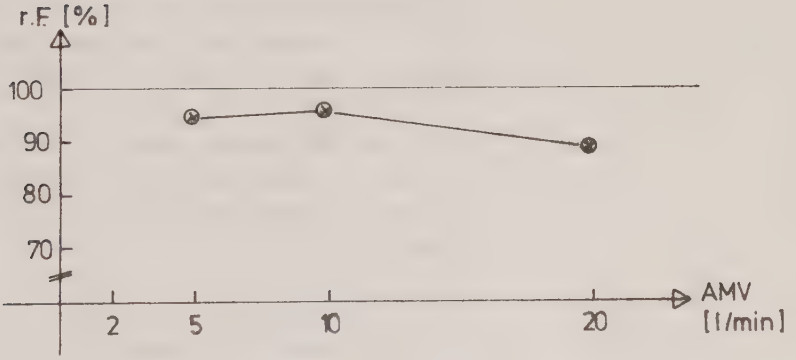
AMV (l/min)	r.F. (%)	Temperatur (°C)			
		Tubus	Schlauch-mitte	Anfeuchter-ausgang	Raum
5	95	34	-')	45-49	21
10	96	33	-	41-44	21,5
20	89	33	-	37-41	21,5

Anfeuchter 20 - Meßergebnisse

') Der Anfeuchter darf nur mit speziellen Schläuchen des Herstellers betrieben werden. Dadurch konnte mit der vorhandenen Meßeinrichtung die Temperatur in der Schlauchmitte nicht bestimmt werden.



Temperaturverhalten .



relative Feuchtigkeit

Abb. 19 : „ Anfeuchter 20 "
Meßergebnisse

mit dem kleinen Schlauchsystem zur Säuglingsbeatmung mit 2 Litern AMV.

Die im Tubus erreichten Temperaturen und Feuchtewerte erreichten bei einem Atemgasflow von 5 und 10 Litern pro Minute die Anforderungen für einen Anfeuchter zur Dauerbeatmung. Bei einem AMV von 5 Litern lag die Temperatur im Patiententubus bei 34°C, die relative Feuchte bei 95%. Bei einem AMV von 10 Litern waren es 33°C und 96% r.F. Lediglich bei einer Durchströmung von 20 Litern Atemgas pro Minute sank der Feuchtigkeitsgehalt auf 89%, während die Atemgastemperatur mit 33°C konstant blieb. Die Atemgastemperatur am Anfeuchterausgang erreichte je nach durchströmender Gasmenge 37- 49°C. Während des Versuches lag die Raumtemperatur zwischen 21°C und 21,5°C.

Mit Einmalschläuchen anstelle der vom Hersteller vorgeschriebenen dickeren Silikonschläuche sank die Temperatur am Patiententubus um 4-6°C.

5.7.3. Sicherheit
Bei Verwendung seiner speziellen Beatmungsschläuche garantiert der Hersteller, daß das Gerät abschaltet, sobald die Atemgastemperatur im Y-Stück des Inspirationsschlauches auf 41°C ansteigt. Im Versuch wurde diese Temperatur nicht erreicht.

5.7.4. Beurteilung
Der"Anfeuchter 20" ist ein handliches Gerät mit wenigen Einzelteilen, die leicht zu reinigen sind. Der Wasservorrat kann auch während des Betriebes über eine Tropfflasche aufgefüllt werden. Da das große warme Wasser-

bad die mögliche Gefahr einer Keimbesiedlung aufweist, sollte der Anfeuchter während des klinischen Einsatzes einmal bakteriologisch untersucht werden. Eine direkte Temperaturmessung des Atemgases am Patienten fehlt. Hier muß mit einem handelsüblichen Thermometer die Atemgastemperatur kontrolliert werden. Der "Anfeuchter 20" ist nicht für Beatmungen mit einem Atemminutenvolumen von weniger als 5 Litern vorgesehen, dient also weitgehend der Erwachsenentherapie. In seinem Verwendungsrahmen erreicht er zufriedenstellende Meßergebnisse.

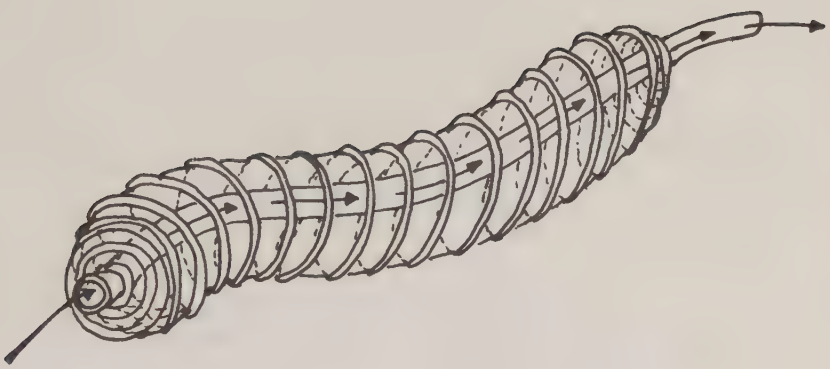
6. Temperaturabfall im Schlauchsystem

Bei einigen Anfeuchtern fiel die Temperaturdifferenz zwischen Anfeuchterausgang und Patiententubus besonders groß aus. Dies führte zur Überlegung, welche Faktoren für den Temperaturabfall im Schlauchsystem verantwortlich seien.

Möglich wäre einmal eine Wärmeabgabe an die Umgebung bei langsamer Strömung des Atemgases, über eine große Schlauchoberfläche, durch Kondensation oder in den Wasserfängern mit ihrer großen Oberfläche.

Zunächst wurde versucht, die Isolierung des Inspirationsschlauches zu verbessern und damit die Wärmeabgabe zu reduzieren. Dazu wurde der Silikonschlauch des kleinen Schlauchsystems, der für die Beatmung mit einem Atemminutenvolumen von 2 Litern benutzt wird, in einen Einmalschlauch größeren Volumens aus Kunststoff eingezogen. Die Enden des Einmalschlauches wurden auf den Umfang des dünneren Silikonschlauches verengt. So entstand eine Luftschicht zwischen beiden Schläuchen, die den inneren Schlauch gegen die Umgebung isolieren und den Temperaturabfall des Atemgases im Innern reduzieren sollte (Abb. 20). Beatmet wurde anschließend mit einem Ventilationsvolumen von 2 Litern pro Minute. Wir wählten dieses Atemminutenvolumen, weil dabei ein hoher Temperaturverlust im Schlauchsystem zu erwarten ist, der wegen des geringen Flow durch die lange Verweildauer des Atemgases im Schlauch entsteht. Der Test erfolgte in oben beschriebener Versuchsanordnung mit dem "Anfeuchter 19" von Dräger.

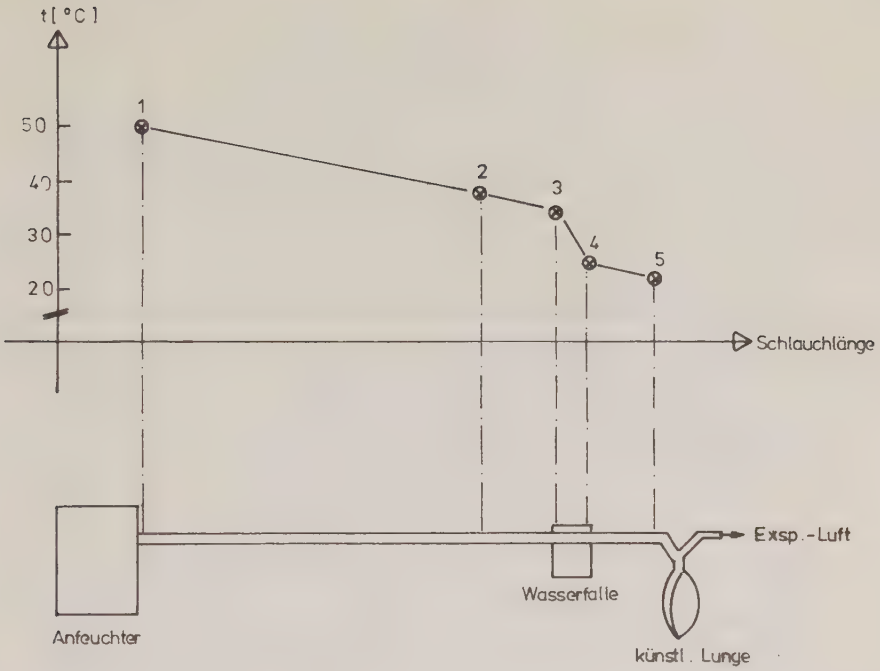
Auf diese Weise wurde gegenüber dem einfachen Schlauch ein Temperaturgewinn von 2,5°C am Patiententubus erzielt. Da dies noch nicht ausreicht, um den Temperaturverlust im



äusserer Schlauchdurchmesser = 22 mm
innerer Schlauchdurchmesser = 7 mm

Abb. 20 : isolierter Beatmungungsschlauch

Schlauchsystem zu kompensieren, wurde das Gefälleprofil des Temperaturverlaufs über die gesamte Schlauchlänge des Inspirationsschenkels untersucht (Abb. 21). Dabei wurde eine zwar stetige Verringerung der Temperatur des Atemgases festgestellt, die aber nicht die hohe Temperaturdifferenz zwischen Anfeuchterausgang und Patiententubus erklären konnte. Der entscheidende Temperatursprung fand sich schließlich an der eingebauten Wasserfalle. Das benutzte Gerät war aus Metall und Plexiglas gefertigt. In seinem labyrinthartigen Innenraum scheidet sich Kondenswasser ab. Gleichzeitig kühlt aber das Atemgas wegen der großen Oberfläche der Wasserfalle rasch ab. Im Versuch sank die Temperatur um 9,5°C. Während vor der Wasserfalle noch 34,5°C gemessen wurden, waren es kurz dahinter nur noch 25°C.
Bei der Auswahl einer Wasserfalle sollte deshalb besonderer Wert auf Konstruktion, verwendetes Material und Wärmeabstrahlung gelegt werden.
Eine Verkürzung des Patientenschlauches auf die Hälfte unter Verzicht auf eine zusätzliche Isolierung brachte einen Temperaturgewinn von 2,5°C. Wegen der allgemein üblichen Geräteanordnung am Krankenbett lassen sich die Beatmungsschläuche allerdings nicht beliebig weit kürzen, so daß diese Maßnahme nicht immer brauchbar sein dürfte.



1 = Temperatur am Anfeuchterausgang

2 = " in der Schlauchmitte nach 50 cm

3 = " vor der Wasserfalle

4 = " hinter der Wasserfalle

5 = " am Patiententubus

Abb. 21 : Temperaturgefälle im Schlauchsystem

7. Diskussion

Bei der Ausatmung wird ein Teil der Feuchtigkeit und Wärme des Atemgases zurückgewonnen. J. Chalon (1979) fordert deshalb für eine endotracheale Beatmung Erwachsener eine Atemgastemperatur von 32°C und eine Wasserdampfsättigung von 100%. W. Dick (1972) hält für die Beatmung von Säuglingen und Kleinkindern 32-33°C und 85% relative Feuchte für erforderlich. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich nach J. Chalon (1979) Lungenkomplikationen und Frösteln, die schon nach einstündigen Narkosen mit Intubation auftreten, vermeiden. W. Dick führt in seiner Arbeit (1972) aus, daß die Applikation von Atemgas mit einer Temperatur von 37°C und 100% relativer Feuchte den tatsächlichen Bedarf des kindlichen Organismus um 25-30% übersteigt. Die kindliche Kreislauf- und Lungenfunktion ist jedoch noch nicht in der Lage, dieses Überangebot zu kompensieren. Daher müsse sich die externe Wärme- und Feuchtezufuhr nach den tatsächlichen Verlusten richten.

F.B. Reynolds (1974) setzt den benötigten Wassergehalt der Atemluft bei Tracheotomierten und bei endotrachealer Intubation in einer Studie auf 34 mg Wasser pro Liter Atemgas an, was 100% relativer Feuchte bei 34°C entspicht. Diesen Wert ermittelte er durch Messungen in der oberen Trachea bei nasaler Atmung.

R.B. Imbruce und S. Nair (1978) stellen in einer Untersuchung im Norwalk Hospital Conn. die Forderung einer Begrenzung der Temperatur des Inspirationsgases auf 26,6°C (80°F) zur Diskussion. Bei ihren Patienten mit geschwächtem Kreislauf führte eine so erfolgte Beatmung zu einer Hypothermie mit daraus resultierender -erwünschter- Verminderung des Stoffwechsels und somit zu einer Ver-

minderung der Kreislaufbelastung für die Patienten.

Der Wasser- und Wärmebedarf ist in einem gewissen Bereich für fiebernde und unterkühlte Patienten individuell unterschiedlich. Der gesamte Therapiebereich muß von der Leistungsfähigkeit des Beatmungssystems abgedeckt werden, um vielseitig einsetzbar zu sein. Soll das Augenmerk des Personals nicht weitgehend auf das Funktionieren der technischen Ausrüstung und von den Patienten abgelenkt werden, muß die Bedienung des technischen Gerätes möglichst einfach und seine Funktion sicher sein.

Unter diesem Aspekt stellen Bedienungskomfort und -sicherheit ein wesentliches Kriterium dar. Am besten gelöst scheint dieser Gesichtspunkt bei Anfeuchtern zu sein, deren Heizleistung elektronisch über einen externen Temperaturfühler am Patiententubus geregelt wird. Vorbildlich ist in dieser Beziehung der "Bennett Cascade II Humidifier", der die vorgewählte Temperatur automatisch einstellt und die aktuelle Temperatur des Atemgases im Tubus kontinuierlich anzeigt. Der Anfeuchter ist allerdings auch das technisch aufwendigste Gerät.
Verzichtet man auf den patientennahen Temperaturfühler, so ergeben sich Probleme bei einer Überhitzung des Gerätes infolge Wassermangels oder als Folge von Respiratorstörungen (z.B. beim Conchatherm). Eine andere Möglichkeit der Temperatureinhaltung ist der Gebrauch spezieller Schlauchsysteme (wie beim "Anfeuchter 20"). Eine Temperaturkontrolle des Atemgases am Patienten sollte in jedem Falle vorhanden sein, um den Anwendungsbereich der Geräte möglichst groß zu halten. Eine technische Lösung, dieses

Ziel mit geringem Aufwand zu erreichen, zeigt der "Bird Humidifier". Er erlaubt eine kontinuierliche Temperaturmessung mit einem kleinen Thermometer, das in ein Verbindungsstück des Atemschlauches unmittelbar vor dem Patiententubus eingesteckt wird. Allerdings fehlt dem Gerät die automatische Temperaturregelung. Sie erfolgt manuell und erfordert viel Übung.
Wenn keine Meßmöglichkeit für die Temperatur des Atemgases in Patientennähe vorhanden ist, müssen bei Kontrollen umständlich Schlauchverbindungen gelöst und handelsübliche Thermometer oder Fieberthermometer benutzt werden. Diese wiederum stellen ein zusätzliches und unnötiges Risiko für den Patienten dar, da sie leicht zerbrechen und das zur Füllung meist verwendete Quecksilber in die Atemwege des Patienten gelangen kann.

Eine weitere Möglichkeit, die Temperatur des Atemgases zu regeln, besteht darin, den Inspirationsschlauch zu beheizen. Jedoch wirft eine elektrische Schlauchheizung, wie sie schon für einige Geräte entwickelt wurde, erhebliche Sicherheitsprobleme auf. Das gilt besonders für die Gefahr der Verpuffung bei einem elektrischen Kurzschluß mit Funkenbildung während der Beatmung mit hohen Sauerstoffkonzentrationen. Die Probleme sind bisher noch nicht zufriedenstellend gelöst, und betriebssichere Geräte existieren noch nicht.

In welcher Form die im Schlauchsystem auftretenden Wärmeverluste aufgefangen werden können, wurde vorher schon beschrieben. Ein Weg besteht in einer besseren Schlauchisolierung, einer Kürzung der verwendeten Schläuche zur Verringerung der Oberfläche oder in der Verwendung besserer Wasserabscheider. Hier ist allerdings eine Kombi-

nation verschiedener Maßnahmen zur Einschränkung des Temperaturverlustes anzustreben, da Einzelmaßnahmen nur in geringem Maße wirksam sind.
Im Versuch ergab eine bessere Schlauchisolierung eine Verminderung des Temperaturabfalls um 2,5°C. Nach Kürzung des Inspirationsschlauches um die Hälfte reduzierte sich der Atemgastemperaturverlust am Ende des Schlauches um 2,5°C. Der größte Temperaturgewinn wäre durch bessere Wasserfallen zu erwarten. In den verwendeten Modellen sank die Atemgastemperatur um 9,5°C. Dieser Befund ist überraschend, da Wasserabscheider bislang nicht als Ursache für eine Veränderung des Atemgasklimas angesehen wurden. Bei der Auswahl einer Wasserfalle sollte daher nicht nur Wert auf eine ausreichende Kondenswasserabscheidung gelegt werden, sondern bei der Konstruktion und dem verwendetem Material auch die Wärmeabstrahlung berücksichtigt werden.

Die einfachste Methode, eine zu große Abkühlung des Atemgases bis zum Patienten zu vermeiden, wäre eine hohe Temperierung der Räume (>30°C). Allerdings läßt sich eine so hohe Umgebungstemperatur nur in speziellen Räumen der Intensivpflege (z.B. für Patienten mit ausgedehnten Verbrennungen in einigen Unfallkliniken) oder in Inkubatoren erreichen.

Das Prinzip der Atemgasanfeuchtung (Sprudler, Nieder- oder Hochtemperaturverdampfer) spielte in der Untersuchung hinsichtlich seiner Wirksamkeit keine entscheidende Rolle. Das zeigen die Ergebnisse, die durchweg einen ausreichenden Feuchtegrad des Atemgases bei allen getesteten Typen aufweisen.
Interessant sind die verschiedenen Anfeuchter-

typen aus hygienischer Sicht. Durch bakterielle Kontamination sind sie unterschiedlich stark gefährdet. Einige Autoren wie Spaepen et al. (1978) sowie Grün und Heyn (1976) weisen auf die Gefahr fataler Pneumonien hin, deren Ursache bakteriell verseuchte Anfeuchter sein sollen, die bei der Beatmung verwendet wurden. Dies zu vermeiden ist nach Spaepen et al. bisher keine befriedigende technische Lösung gefunden worden. Grün und Heyn hatten einige Erfolge mit speziell konstruierten, inspirationsseitig angeordneten UV-Strahlern.
Auch im Hinblick auf hygienische Gefahren sollten alle Geräte obligatorisch klinisch getestet werden. Niedertemperaturverdampfer mit einer Arbeitstemperatur von weniger als 60°C und meist großem, beheizten Wasservorrat scheinen besonders gefährdet zu sein. Sie stellen ein gutes Kulturmedium für Mikroorganismen dar, die retrograd Atemschläuche und Anfeuchter besiedeln können. Wie sich bei jahrelangem Betrieb auf der Intensivstation der Kinderklinik der Universität Düsseldorf zeigte, ist das Verdampfungsprinzip mit hohen Temperaturen (>60°C) hygienisch besonders vorteilhaft.

Die elektrische Sicherheit eines Anfeuchters muß wegen seines Einsatzortes in der Intensivpflege besonders beachtet werden. Da sich während der Beatmung zwangsläufig Kondenswasser in den Atemschläuchen ansammelt und das Gerät beim Nachfüllen des Wasservorrates und beim Entleeren der Wasserabscheider jederzeit Spritzwasser ausgesetzt ist, sind bei einem elektrischen Kurzschluß nur geringe Leitungswiderstände zum Patienten zu überwinden. Eine Weiterleitung ist über angelegte Überwachungselektroden in die Herzregion möglich.

Bei der Beatmung mit Sauerstoff kann die Gefahr einer Verpuffung für Patient und Personal entstehen.
Unter diesem Aspekt nahm die Zentralstelle für Sicherheitstechnik des Landes Nordrhein-Westfalen in Düsseldorf eine sicherheitstechnische Überprüfung der untersuchten Anfeuchter vor. Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt an anderer Stelle.

Zur Betriebssicherheit moderner Anfeuchter gehört eine Alarm- und Abschaltvorrichtung, deren Notwendigkeit bei wirksam arbeitenden Anfeuchtern in den voranstehenden Kapiteln immer wieder betont worden ist. Angemessen wäre ein optischer Alarm und ein zusätzlicher, löschbarer akustischer Alarm, wie sie heute bei Respiratoren und EKG-Scopes üblich sind.
Nimmt man die Arbeiten von J. Chalon (1979) und W. Dick (1972) als Grundlage, so sollte die Atemgastemperatur 39°C nicht über- und 30°C nicht unterschreiten können, ohne daß das Personal darauf aufmerksam gemacht wird. Darin enthalten ist dann ein genügend großer Spielraum für die Temperaturregelung im Einzelfalle. Für bestimmte Verwendungszwecke, bei denen diese Grenzen nicht ausreichen, könnte die Alarmvorrichtung variabel oder abschaltbar konstruiert werden (z.B. um eine Hypothermie zu erreichen).

Aus all dem folgt, daß der Betrieb eines Anfeuchters wegen der möglichen Folgen für den Patienten sicher vor Bedienungsfehlern und Fehlfunktionen sein muß. Dazu tragen eine ausgereifte Konstruktion und eine einfache Handhabung bei.
Das Anwendungsgebiet einiger untersuchter Geräte ist eingeschränkt. Zu diesen gehören der Anfeuchter 19 von Dräger und der Nufer

Mistogen. Durch die geringe Temperatur des Atemgases, die im Tubus am Patienten erreicht wird, begrenzt sich ihr Einsatz auf Orte mit einer hohen Umgebungstemperatur, wie sie in einem Inkubator oder hoch temperierten Raum herrschen. Hier kann sich das Atemgas im Inspirationsschlauch nicht so weit abkühlen, daß es schließlich zu kalt den Patienten erreicht. Doch haben diese Geräte auch Vorteile, so daß es dem Betreiber überlassen bleibt, für seinen jeweiligen Verwendungszweck ein geeignetes Gerät auszuwählen.

Es sollte nicht unerwähnt bleiben, daß den meisten Geräten keine brauchbare Betriebsanleitung beiliegt. Das wirkt sich besonders nachteilig aus, wenn ein Störfall beim Betrieb des Gerätes auftritt oder das Gerät die vorgeschriebene Leistung nicht erreicht. Mitunter kleine Fehlerquellen können dann nicht aufgefunden werden.
Wünschenswert wären ferner standardisierte Meßgrößen, welche die Leistung des Gerätes an festgelegten, einheitlichen Meßpunkten aufzeigen - auch im Schlauchsystem und am Patienten. Wie während der Versuchsserie gezeigt wurde, weichen diese Meßwerte erheblich von denen am Gerät selbst ab. Da solche standardisierten Meßgrößen inzwischen für viele Elekrogeräte im privaten Haushalt existieren, sollte es auch möglich sein, dies im Bereich der Medizintechnik einzuführen. Das würde es dem Anwender erheblich leichter machen, verschiedene Geräte zu vergleichen und sich für ein bestimmtes zu entscheiden. Ein Überblick über die getesteten Geräte findet sich in Abbildung 22.

Abb. 22:

Zusammenfassung und Bewertung der Testergebnisse

Anfeuchter	Funktionsprinzip	konstante Atemgastemperatur am Patienten (30-35°C) bei verschiedenen AMV	ausreichende rel. Feuchtigkeit des Atemgases am Patienten bei verschiedenen AMV (100% bei 30-35°C bzw. 85% bei 37°C)	Alarm	automatische Heizungsregelung bei verschiedenen AMV	Kontrolle der Atemgastemperatur	elektr. Sicherheit	Bedienung und Wartung	Reinigung und Desinfektion	Einsatzort
1. Conchatherm	Dochtanfeuchter (Niedertemperaturverdampfer)	+	+	-	- (Gefahr der Überhitzung)	-	+	einfach	Einweganfeuchterpatrone Gerät nicht sterilisierbar	universell
2. Bennett Cascade II	Sprudler (Niedertemperaturverdampfer)	+	+	+	+	+	+	einfach und sicher	Regelteil nicht sterilisierbar	universell
3. Bird Humidifier Model No.3000	Dochtanfeuchter (Niedertemperaturverdampfer)	+	+	+	-	(+)*	-	kompliziert durch manuelle Temperaturregelung	umständlich durch viele Einzelteile	bei geringen AMV Gefahr des "rainout"
4. Anfeuchter 19 (früheres Modell)	Hochtemperaturverdampfer	-	-	-	konstante Heizleistung	-	++	einfach und sicher	einfach	in Verbindung mit Inkubatoren
5. Anfeuchter 19 (neues Modell)	Hochtemperaturverdampfer	-	-	-	konstante Heizleistung	-	++	einfach und sicher	einfach	in Verbindung mit Inkubatoren
6. Nufer Mistogen	Niedertemperaturverdampfer	-	-	-	(+)**	-	+	einfach	einfach	nur bei hoher Umgebungstemperatur
7. Anfeuchter 20	Niedertemperaturverdampfer	+	+	+	+	-	+	einfach und sicher	einfach (Regelteil nicht sterilisierbar)	bei AMV nicht unter 5 Litern

* über ein kleines Thermometer am Patiententubus

** über ein Thermometer im Wasservorrat des Anfeuchters

8. Zusammenfassung

An einem kompletten Beatmungsplatz, wie er in der Intensivpflege benutzt wird, wurden sieben verschiedene, fabrikneue Anfeuchter unter den simulierten Bedingungen einer endotrachealen Beatmung getestet. Ziel der Untersuchung war, festzustellen, in wie weit ihre Funktion den Erfordernissen einer Intensivtherapie entspricht.
Dazu wurde eine möglichst einfache Meßvorrichtung entwickelt, mit der wesentliche Parameter der Anfeuchterfunktion wie Temperatur des Atemgases und dessen Feuchtigkeit kontinuierlich bestimmt werden können. Großer Wert wurde auf die Bedingungen gelegt, die unmittelbar am Patienten, im Trachealtubus herrschen.
Von den geprüften Geräten sind nur wenige ohne Einschränkung bei Kindern einzusetzen. Probleme ergeben sich vor allen Dingen bei der Erwärmung des Atemgases. Es werden Vorschläge gemacht, wie Atemgas mit einer ausreichenden Temperatur zum Patienten gelangen und die Betriebssicherheit erhöht werden kann. Außerdem sollten alle Anfeuchter einer klinisch-bakteriologischen Prüfung unterzogen werden.

Für die technische Unterstützung bin ich den Mitarbeitern der Zentralstelle für Sicherheitstechnik des Landes Nordrhein-Westfalen in Düsseldorf besonders dankbar.

Literatur:

C h a l o n J., Patel Ch., Mahgul Ali, Ramanathan S. et al.:
Humidity and the Anesthetized Patient.
Anesthesiology 50: 195-198, 1979

C l a r k e R.E., Orkin L.R., Rovenstein E.A.:
Temperature in anesthetized man: Effect of environment temperature, humidity and anesthesea system.
J.A.M.A. 154: 311-319, 1954

D i c k W.:
Respiratorischer Flüssigkeits- und Wärmeverlust des Säuglings und Kleinkindes bei künstlicher Beatmung.
Anaesthesiologie und Wiederbelebung 62
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1972

F i s h e r A.J., Ten Pas R.H. et al.:
The Fundamentals of Nebulization. Physical and Physiological Factors Affecting the Design and Use of Nebulizers in Pulmonary Therapy and Ventilation.
Bird Corporation, Form 8661, 1975

G r a f f Th. and Benson D.W.:
Systemic and Pulmonary Changes with Inhaled Humid Atmospheres: Clinical Application.
Anesthesiology, Febr. 1969

G r ü n L. und Heyn U.:
Experimentelle Untersuchungen zur Desinfektion der In- und Exspirationsluft bei künstlich angefeuchteter Luft.
Prakt. Anasth. 11: 333-338, 1976

H a m e r Ph.:
Intratracheale Feuchtigkeitsmessungen bei intubierten Patienten während der Narkose und auf der Intensivstation unter Verwendung verschiedener Befeuchtungssysteme.
Prakt. Anästh. 9: 306-315, 1974

I m b r u c e R.P. and Nair S.:
The effect of body-temperature humidification on thermal regulation.
Respiratory Therapy, March/April 1978

M a r f a t i a S., Donahoe P.K., Hendren W.:
Effect of Dry and Humidified Gases on the Respiratory Epithelium in Rabbits.
Journal of Pediatric Surgery Vol.10, No. 5 (Oct.) 1975

N e l s o n D. and McDonald J.S.:
Heated humidification, temperature control and "rainout" in neonatal ventilation.
Respiratory Therapy, March/April 1977

P e r m i t z s c h k y R.:
Die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Atemluft in den Luftwegen.
Arch. Ohr-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde 117 (1928), 1 und 125 (1930)

R a c e n b e r g E. und Tentrup F.-J.:
Gefahren wegen unzureichender Befeuchtung bei Langzeitbeatmung.
Anästhesiologische Informationen, Sept. 1977

R e y n o l d s F.B.:
Humidification and Humidifiers.
International Anesthesiology Clinics Vol.12, No. 3, 1974

S p a e p e n M.S., Berryman J.R. et al.:
Prevalence and Survival of Microbial Contaminants in Heated Nebulizers.
Anesth. Analg. 57: 191-196, 1978

V e r z á r F., Keith J., Parchet V.:
Temperatur und Feuchtigkeit der Luft in den Atemwegen.
Pflügers Archiv Bd.257: 400-416, 1953

W a l l i s W. und Bachmann W.:
Ein neuartiges Verdunstergerät zur künstlichen Klimatisierung in der Intensivpflege des HNO-Gebietes.
Laryng. Rhinol. 55: 513-514, 1976

LEBENSLAUF

Name	Wolfgang Körn
geboren	22.08.1953 in Moers
Nationalität	deutsch

1960-64	ev. Volksschule Kamp-Lintfort
1964-72	städt. Gymnasium Kamp-Lintfort
1972	Abitur
1972-74	Wehrdienst
1975-81	Studium der Medizin an der Universität Düsseldorf
1981	Staatsexamen